

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Využívání silnoproudých vedení pro přenos signálů**  
**Using Power Lines for Telecommunications Signal Transmission**

**2015**

**David Gajdoš**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**David Gajdoš**

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Využívání silnoproudých vedení pro přenos telekomunikačních signálů  
Using Power Lines for Telecommunications Signal Transmission

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je rešerše na téma „Využívání silnoproudých vedení a sítí jako přenosového média pro přenos signálů“. Obsah rešerše:

1. Historický vývoj využívání silnoproudých vedení pro přenosovou techniku.
2. Přenosové parametry elektroenergetických vedení.
3. Současná situace využívání v ČR a ve světě.

Seznam doporučené odborné literatury:

Automatizace.HW.cz - Elektronika v automatizaci. HW.cz. [Online] HW server s.r.o. [Citace: 29. 10. 2013.] <http://automatizace.hw.cz/>. ISSN: 1803-6392.

Měřicí a regulační technika. TZB-info. [Online] Topinfo s.r.o. [Citace: 29. 10. 2013.] <http://elektro.tzb-info.cz/>. ISSN 1801-4399.

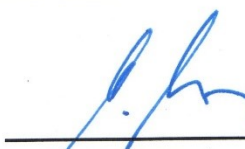
SVOBODA, Jaroslav. 2012. *Využívání silnoproudých vedení a sítí pro přenos zpráv*. Praha : ČVUT, 2012. 978-80-01-05168-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iva Petříková, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 5. května 2015



podpis studenta

## Poděkování

Rád bych poděkoval paní Ing. Ivě Petříkové, Ph.D. za odbornou pomoc, přívětivý přístup, vedení a konzultaci při tvorbě této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce, jejímž tématem je "Využívání silnoproudých vedení pro přenos signálů", je seznámit čtenáře s historií této problematiky. Práce seznamuje s osobnostmi, které se zasloužily o základ elektroenergetických sítí, a také seznamuje s historickým vývojem elektrifikace ve světě i u nás. Práce vytyčuje výhody využívání již vybudované elektrifikace, která je v dnešní době všudypřítomná a také poukazuje na zavádění nových přenosových technologií pro její ještě větší efektivitu. Také se zabývá možnými úskalími, které vznikají při použití složitějších technologií a přenosovými parametry elektroenergetických vedení, na které je nutno brát zřetel díky správné funkci přenosu signálů po silnoproudých vedeních. Práce se zabývá i současnou technologickou situací v České republice i ve světě.

## **Klíčová slova**

Přenos, signál, Inteligentní síť, parametry vedení, BPL, PLC

## **Abstract**

The aim of this thesis, based on the theme "Using Power Lines for Telecommunications Signal Transmission", is to acquaint the reader with the history of this issue. This paper introduces the people who contributed to the foundation of electricity networks and to the historical development of electrification at home and throughout the world. The paper outlines the advantages of using the electrification already built, which is omnipresent nowadays, and highlights the introduction of new transmission technologies for greater efficiency. It also discusses the possible difficulties that arise when using complex technologies and the transmission parameters of electricity lines, which must be taken into account for the proper function of signal transmission over power lines. The work also covers the current technological situation in the Czech Republic and abroad.

## **Key words**

Transmission, signal, SmartGrids, power lines parameters, BPL, PLC

## Seznam použitých zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Český význam</b>
<b>ČEPS</b>	Česká přenosová soustava
<b>ČEZ</b>	České Energetické Závody
<b>ČSN</b>	Česká technická norma
<b>DM</b>	Dálkové měření
<b>DO</b>	Dálkové ovládání
<b>DS</b>	Dálková signalizace
<b>HDO</b>	Hromadné dálkové ovládání
<b>PRE</b>	Pražská energetika, a.s.
<b>RVHP</b>	Rada vzájemné hospodářské pomoci
<b>nn</b>	Nízké napětí, od 50 V - 1000 V
<b>vf</b>	Vysokofrekvenční
<b>vn</b>	Vysoké napětí, od 1000 V do 50 kV
<b>vvn</b>	Velmi vysoké napětí, od 50 kV do 399 kV

<b>Zkratka</b>	<b>Cizojazyčný význam</b>
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line
<b>BPL</b>	Broadband Power Line
<b>CATV</b>	Cable television
<b>DBPL</b>	Design of Systems on Silicon
<b>DPL</b>	Digital Broadband Power Line
<b>DS2</b>	Digital Power Line
<b>DSL</b>	Digital Subscriber Line
<b>EEGI</b>	European Electricity Grid Initiative
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>OPERA</b>	Open PLC European Research Alliance
<b>PDSL</b>	Power Digital Subscriber Line

---

<b>PLC</b>	Power Line Communication
<b>PLT</b>	Power Line Telecommunication
<b>PSD</b>	Power Spectral Density
<b>RWE</b>	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk
<b>SET Plan</b>	Strategic Energy Technology Plan
<b>UTP</b>	Unshielded twisted pair
<b>VoIP</b>	Voice over IP

---

# Obsah

Seznam použitých zkratk	5
Úvod	9
1 Historie a rozvoj elektroenergetických sítí	10
1.1 Slavné osobnosti ve světě	10
1.1.1 Thomas Alva Edison	10
1.1.2 Nikola Tesla	10
1.1.3 Válka proudů	11
1.2 Slavné osobnosti u nás	11
1.2.1 František Křižík	11
1.2.2 Emil Kolben	12
1.3 Historie elektrifikace a elektrárenství u nás	12
1.4 Současná struktura energetických sítí	13
2 Přenos signálů po elektroenergetických sítí	15
2.1 Historie přenosu signálů	15
2.1.1 Prvopočátky přenosu po vedení	15
2.1.2 Počátky HDO na silnoprůdých vedeních	15
2.1.3 Současná situace HDO ve světě	16
2.1.4 Současná situace HDO v České republice	16
2.1.5 Optický kabel v zemním laně	16
2.1.6 PLC Forum	17
2.2 Power Line Communication	18
2.3 Telekomunikační služby úzkopásmové	18
2.4 Telekomunikační služby širokopásmové	19
2.4.1 Historický vývoj	19
3 Přenosové parametry elektroenergetických vedení	21
3.1 Primární parametry vedení	21
3.1.1 Činný odpor (rezistence) $R$	22
3.1.2 Indukčnost $L$	23
3.1.3 Kapacita $C$	25
3.1.4 Svodový odpor $G$	25
3.2 Sekundární parametry vedení	26

3.2.1	Vlnová impedance $ Z_C $ .....	26
3.2.2	Měrná míra přenosu $ \gamma $ .....	27
3.2.3	Měrný útlum $\alpha$ .....	28
3.2.4	Měrný fázový posuv $\beta$ .....	28
3.2.5	Induktivní reaktance $X_L$ .....	29
3.2.6	Kapacitní reaktance $X_C$ .....	29
3.2.7	Induktivní susceptance $B_L$ .....	29
3.2.8	Kapacitní susceptance $B_C$ .....	30
3.2.9	Podélná impedance $ Z $ .....	30
3.2.10	Příčná admitance $ Y $ .....	30
3.3	Sekundární parametry vlny zemní a mezifázové .....	31
3.4	Problematika šíření signálu v rozvětvených nehomogenních vedení .....	33
3.5	Rušení u PLC .....	33
4	Současná situace využívání v ČR a ve světě .....	35
4.1	Inteligentní sítě SmartGrids .....	35
4.1.1	Tradiční elektroměr vs. inteligentní elektroměr .....	36
4.1.2	Souvislost inteligentních sítí s obnovitelnými zdroji .....	36
4.1.3	Současný stav inteligentních sítí v Evropském kontextu .....	37
4.2	Využívání PLC jako přístupové sítě .....	38
4.3	Využívání PLC jako domácí sítě .....	39
	Závěr .....	40
	Použitá literatura .....	42



# Úvod

Myšlenka přenášet signály po silnoproudých vedeních vznikala už od počátku budování elektroenergetických vedeních. První pokusy se datují již od konce 19. století. První kapitola práce je věnována významným osobnostem a historii budování českého elektrárenství. Závěr kapitoly se zabývá současnou strukturou energetických sítí.

Druhá kapitola rozebírá historii přenosu signálů po silnoproudých vedeních. Stručně je zmíněna historie hromadného dálkového ovládání jak ve světě, tak i v České republice. Zmíněny jsou používané telekomunikační služby na elektroenergetických vedeních a také postupný vývoj širokopásmových systémů.

Třetí kapitola podrobně rozebírá parametry elektroenergetických vedeních. Nejprve jsou popsány primární parametry vedení a následně odvozené sekundární parametry. Z takto odvozených vztahů jsou porovnány různé druhy vedení, ať už kabelové nebo venkovní. Zmíněny jsou i možné zdroje rušení a šumů, s kterými se potýkáme především v distribučních sítích nízkého napětí.

Čtvrtá kapitola vyzdvihuje praktické využití přenosu signálů po silnoproudém vedení. Především významným využitím v energetice bude nasazení inteligentních sítí. Tyto sítě budou mít mnoho výhod, jak pro spotřebitele energií, tak pro samotného distributora. V současné době jsou inteligentní sítě spouštěny jako pilotní projekty, které mají nasbírat co nejvíce zkušeností. Pilotní projekty jsou provozovány celosvětově a také Česká republika nezaostává. Společnost ČEZ provozuje takový projekt pod názvem Smart region Vrchlabí. Dalším využitím přenosu signálů po silnoproudém vedení pak může být jako distribuce internetu nebo lokální síť v domácnosti.

# 1 Historie a rozvoj elektroenergetických sítí

## 1.1 Slavné osobnosti ve světě

### 1.1.1 Thomas Alva Edison

Významnou osobností, která se zapříčinila o rozvoj elektroenergetiky a elektrotechniky je americký vynálezce Thomas Alva Edison. Narodil se 11. února 1847 v Milánu ve státě Ohio. V dětství byl často nemocen a díky tomu nenavštěvoval příliš školu. O jeho vzdělání se starala jeho matka, která jej učila sama. Od mala byl velmi zaujatý přírodními jevy a jako 10 letý kluk si postavil svou vlastní laboratoř. To mělo zapříčinění, že díky svým experimentům částečně ohluchl. Chvilí se živil jako telegrafista, což mu dalo spoustu inspirace, pro tvorbu svých vynálezů. Za život uplatnil více než 1600 patentů. Nejznámější jsou bezesporu patent na fonograf (1877), mikrofón (1878), kinematograf (1891) a z oblasti elektroenergetiky je to první žárovka použitelná v praxi (1880), pojistka (1885), elektrický akumulátor (1900) a elektrický automobil (1902). Zasloužil se o spuštění první veřejné elektrárny na světě "Edison Electric Light Station" s výkonem 90 kW, kde elektrický generátor byl poháněn parním strojem. Elektrárna sloužila pro dodávku energie osvětlení blízkého okolí Manhattanu pro potřeby obyvatel a obchodníků. Slavnostně byla spuštěna 4. září 1882 v New Yorku na ulici Pearl Street. Edison umírá 18. října 1931 v New Jersey a v den pohřbu byly na jeho počest zhasnuty všechny žárovky v USA. [1]

### 1.1.2 Nikola Tesla

Další velmi významnou osobností, která ovlivnila světové dějiny, je Nikola Tesla. Narozen 10. července 1856 v chorvatském Smiljanu v rodině srbského pravoslavné duchovního. Stejně jako Edison byl od mala zaujatý do přírodních jevů a techniky. Měl spoustu nápadů, kterým ale rozuměl pouze on a lidé pro něj neměli pochopení. Studoval ve Štýrském Hradci, ale i na jiných rakousko-uherských školách. Nakonec studoval i na Pražské technické univerzitě Karlovo-Ferdinandově. Roku 1884 vycestoval na doporučení svého nadřízeného do USA za Edisonem a začal pro něj pracovat. Edison mu dal za úkol, ať zdokonalí jeho generátory ve firmě pod odměnou padesáti tisíc dolarů, což na tehdejší dobu byla vysoká suma. Tesla generátory zdokonalil a vymyslel nové patenty, ale domluvenou částku s Edisonem nikdy nedostal. To Teslu rozhněvalo a po dvou letech práce pro Edisona podnik opustil. Po roce založil vlastní firmu a začal se zabývat vlastním výzkumem. Vzešlo z toho mnoho patentů, které ovlivnili veškerý vývoj techniky, jak ji známe dnes. Mezi nejznámější patří indukční střídavý motor známý také jako asynchronní motor (1888) a principy třífázové sítě. Zabýval se radiovým přenosem a 1893 patentoval první radiové zařízení. Dokázal sestavit malé plavidlo, které bylo ovládáno radiovým signálem. Vybudoval obrovskou vysílací stanici na Long Islandu tzv. Wardenclyffskou věž (1900), která sloužila pro přenos zpráv a sledování poloh lodí. Mimo jiné měla sloužit pro pokusy s přenosem elektřiny na dálku bezdrátově, kterým Tesla vynaložil podstatnou část svého života. Projekt nebyl dokončen a věž byla 1917 zbořena. Údajně se mu to povedlo, ale veškeré materiály z výzkumu jsou ztraceny. Celý život Teslu doprovázely finanční problémy. Peníze co vydělal, investoval do dalších výzkumů. Nakonec umírá chudý a sám 7. ledna 1943. [2]

### 1.1.3 Válka proudů

Koncem 19. století se začínal hojně využívat stejnosměrný proud a elektrifikovaly se některé podniky, nemocnice a budovalo se veřejné osvětlení. Problémem byla velká spleť drátů na ulici, které navíc měly velký průměr. Teslovi to přišlo velmi neefektivní a považoval stejnosměrnou elektrifikaci za velmi nákladnou. Proto roku 1887 se zabývá efektivnější alternativou stejnosměrného proudu a vzniká tak střídavý proud. Velkou výhodou střídavého proudu je průměr drátu, který dokáže přenést stejnou energii jako velký drát pro stejnosměrný proud. Další velká výhoda je, že přenášený střídavý proud nemá velké ztráty napětí na dlouhé vzdálenosti. Téhož roku si Tesla přihlašuje patenty na generátory pro střídavý proud. Princip generátorů tkví v měnění polarity náboje v plus a minus při frekvenci 60 kmitů za sekundu. Teslova konceptu si všimá George Westinghouse a odkupuje jeho nové patenty, což Teslovi umožňuje získat část jeho firmy a získává prostředky pro další výzkum. V roce 1897 získává Tesla americké občanství a začínají největší spory mezi Teslou a Edisonem, který se za každou cenu snaží obhájit výhod svého stejnosměrného proudu. Edison se snažil přesvědčit lid především možným nebezpečím střídavého proudu. Přesto Tesla s Westinghousem získávají zakázku v roce 1893 na osvětlení světové výstavy v Chicagu. Velkou roli hrála cena, kterou měl Edison dvojnásobně větší. Z neúspěchu Edison zakázal pro tento účel použití jeho žárovky, což vedlo vynálezu Teslovi žárovky (1894), která v mnohém předčila Edisonovu. Výhodou byla jednodušší výroba. 1. května 1893 se slavnostně rozsvítil areál výstavy, což Teslu celosvětově proslavilo. Definitivní porážkou Edisonova stejnosměrného proudu byla zakázka pro vybudování vodní elektrárny na Niagarských vodopádech, odkud byla elektřina rozvedena až do dalekého New Yorku, což by v případě stejnosměrného proudu bylo ohromně nákladné. [3]

## 1.2 Slavné osobnosti u nás

### 1.2.1 František Křižík

Narozen 8. července 1847 v pošumavském městečku Plánice v chudé rodině. Studoval v té době jedinou českou reálku a kvůli velké chudobě si nemohl dovolit složit maturitu, která byla zpoplatněna. Jeho nadání bylo ale nakolik velké, že byl přijat roku 1866 na pražskou techniku jako mimořádný posluchač. Během studií si přivydělával v továrně na telefonní a signalizační zařízení. Díky svému vynálezu, který zdokonalil železniční signalizaci, odcestoval do Paříže na světovou výstavu. Zaujala ho oblouková lampa, která ale trpěla nedokonalým nastavováním vzdálenosti mezi uhlíkovými elektrodami. Po dvou letech Křižík přichází s upravenými obloukovými lampami, které jsou vybaveny samočinnou regulací vzdálenosti mezi uhlíky. Roku 1881 získává na světové výstavě v Paříži zlatou medaili. Také je autorem legendární pražské fontány, která nese jeho jméno a zasloužil se o provoz prvních českých elektráren. Vybudoval elektrifikaci pražské tramvaje Florenc – Vysočany a roku 1903 vybudoval první českou elektrifikovanou železnici z Tábora do Bechyně. Celý život propagoval stejně jako Edison stejnosměrný proud a v Čechách měl svého konkurenta Emila Kolbena, který si uvědomoval výhody použití střídavého proudu. Na jeho počest je pojmenována stanice pražského metra a je pochován na Vyšehradě. [4]

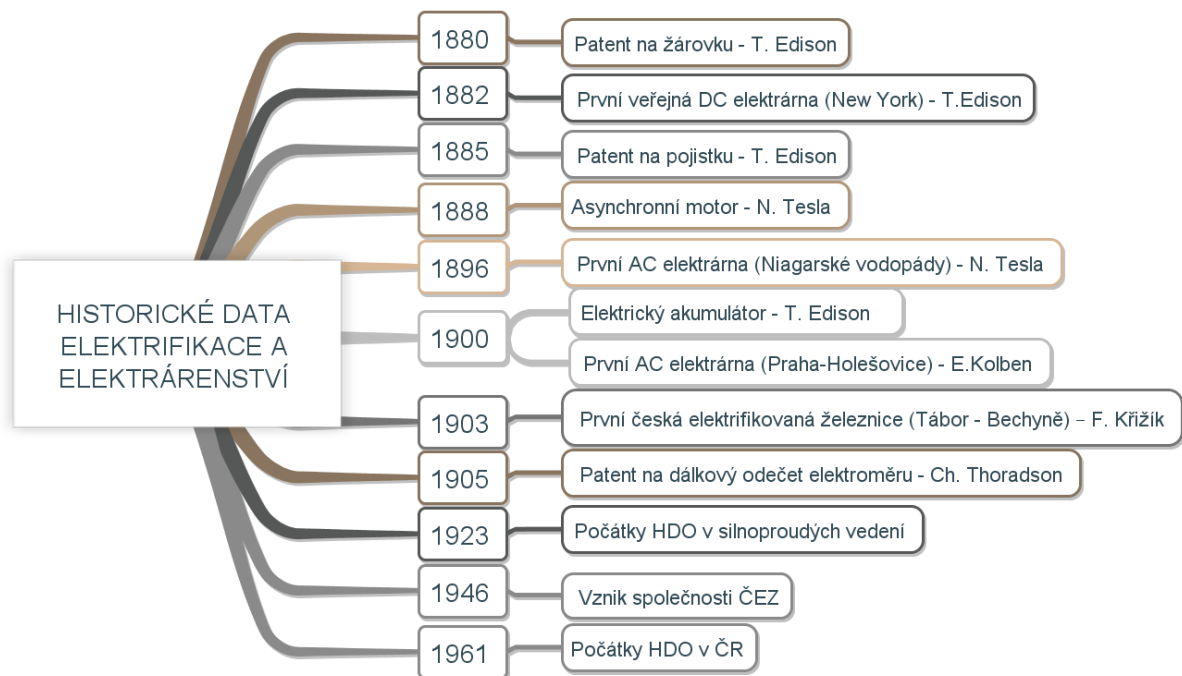
### 1.2.2 Emil Kolben

Český představitel střídavého proudu se narodil v židovské rodině 1. listopadu roku 1862 v Praze. Studoval elektrotechniku a strojnictví na technické univerzitě v Německu. Díky stipendiu mohl cestovat po Evropě a navštěvovat elektrotechnické podniky. Navštívil i Spojené státy, kde chvíli pracoval pro Edisona v laboratořích. Poté, co se seznámil na předváděcí akci Nikola Tesly s jeho třífázovými motory, se přeorientoval na střídavý proud. Odcestoval zpět do Prahy, kde si zakládá vlastní firmu Kolben a spol. zabývající se výrobou elektrických motorů. Později se zabývala širokým sortimentem od výroby špendlíků až po lokomotivy. V roce 1927 měla firma 12 tisíc zaměstnanců. Kolben se zasloužil o vybudování první elektrárny na střídavý proud, která byla postavena v Holešovicích (1900). V roce 1943 byl deportován do Terezína, kde také umírá. Na jeho počest je pojmenovaná stanice pražského metra. [5]

## 1.3 Historie elektrifikace a elektrárenství u nás

První elektrická centrála byla postavena Edisonem roku 1881 v Janáčkově divadle v Brně. První Křižíkovy lampy byly rozsvíceny před Staroměstskou radnicí v Praze roku 1882. Začaly vznikat také první závodní elektrárny, které kromě zásoby energie pro podniky také dodávaly elektřinu k přilehlým obcím. První elektrárna, kterou si roku 1889 vybuďovalo město pro veřejné osvětlení a prodej elektřiny bylo město Praha – Žižkov. Lze to považovat za vznik českého elektrárenství. Všechny doposud vybudované elektrárny byly na stejnosměrný proud. Koncem devatenáctého století se v českých zemích začíná prosazovat střídavý proud. První velká elektrárna zabývající se výrobou střídavého proudu byla pražská elektrárna v Holešovicích (1900).

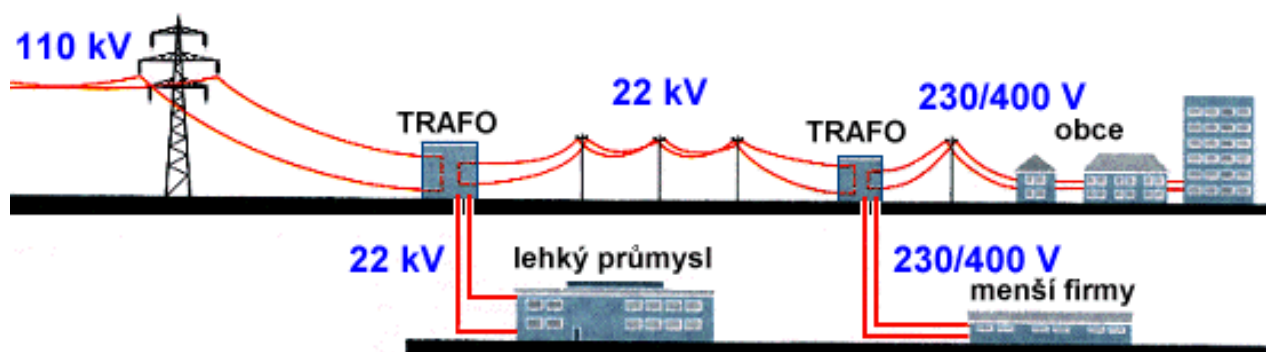
22. června 1919 byl schválen zákon o vzniku všeužitečných elektrárenských společností, kterých vzniklo dvacet. Prohlášený podnik za všeužitečný musí zásobovat elektřinou každého, kdo o to požádá. Na našem území tak vzniká třífázová soustava o frekvenci 50 Hz s napětím 3x 380/220 V pro lokální síť a 100 kV pro síť dálkové. Roku 1946 vznikají České energetické závody jako plně integrovaný podnik zabývající se výrobou, přenosem, prodejem a distribucí elektrické energie pro koncové uživatele. Podnik takto fungoval až do roku 1992, kdy poté se rozdělil na několik menších organizačních subjektů. V dnešní době je největší podnik produkující až tři čtvrtiny elektřiny u nás společnost ČEZ s vlastnictvím a provozem celkem 2 jaderných, 13 uhelných, 35 vodních, 13 fotovoltaiických a 2 větrných elektráren. [6]



Obrázek 1.1: Významné data elektrárenství a elektrifikace

## 1.4 Současná struktura energetických sítí

V elektrárně se produkuje vysoké napětí v řádech tisíců volt, které se dále transformují na velmi vysoké napětí. Produkovan je trojfázový střídavý proud a je veden nadzemním vedením do přenosových stanic, které jsou rozmístěny po celé republice. Nejčastěji blízko těžkého průmyslu jako jsou například automobilky. Propojením přenosových stanic vznikají rozvodné sítě, na které jsou napojeny všechny elektrárny a nelze tak určit, z které elektrárny pochází proud v zásuvce naší domácnosti. Napětí mezi přenosovými stanicemi je v České republice 110 kV, 220 kV nebo 400 kV. Spojovacím prvkem mezi přenosovou stanicí a spotřebitelem je transformační stanice, která transformuje napětí na 230 V a 400 V. V současné době firma ČEPS u nás spravuje přes 3510 km linek o napětí 400 kV, 1909 km linek s napětím 220 kV a 84 km linek 110kV. [7]



Obrázek 1.2: Schéma přenosové elektroenergetické sítě. Zdroj: [www.cez.cz](http://www.cez.cz)

K dálkovému přenosu elektrické energie je používáno vysoké napětí především z důvodu snížení ztrát na vedení. Při nízkých napětí by se vedení ohřívalo kvůli vysokým proudům a vznikaly by velké ztráty. Čím vyšší je napětí, tím nižší proud pak protéká. Proto je neekonomičtější používat nejvyšší možné napětí pro přenos a snížit tím pádem tepelné ztráty.

Maximální nejvyšší napětí pro přenos na velké vzdálenosti je používáno 400 kV, protože v okolí vodičů se tvoří velmi silné elektrické pole, které způsobuje při nepříznivém počasí sršení. Sršení se projevuje vizuálně jako světélkování okolo vodičů a také je slyšitelný praskot. Vznikají tak další výrazné ztráty na vedení. Vyšší napětí by navíc potřebovalo nákladnější konstrukční úpravy, především odolnější izolátory. [8]

Vzhledem k tomu, že se spotřeba energie v domácnostech v průběhu dne mění, je zaváděno spínání elektroměrů na denní a noční tarif, známo též jako denní/noční proud. Cílem tohoto tarifu je přimět spotřebitele, aby přesunuli elektrotepelné spotřebiče (např. bojler, elektrické kotle) právě do doby nízkého zatížení elektroenergetických sítí, která bývá většinou v rozmezí 22:00 – 6:00 hodin. V případě nezavedení tarifu by se musela posílit výrobní kapacita elektráren a byl by větší náklon k možné kolizi elektrárny, protože v daném okamžiku by byla větší poptávka energie než by bylo možné vyrobit. Spínání denního a nočního tarifu je prováděno systémy hromadného dálkového ovládání.[9]



Obrázek 1.3: Schéma rozvodné sítě v České republice. Zdroj: [www.ceps.cz](http://www.ceps.cz)

## 2 Přenos signálů po elektroenergetických sítích

### 2.1 Historie přenosu signálů

#### 2.1.1 Prvopočátky přenosu po vedení

S rozvojem elektrárenství po celém světě se začala utvářet myšlenka, zdali se dá využívat vedení i pro jiné účely, než dodávku energie. Již v dobách stejnosměrných rozvodů byl zapsán první patent (1897) pro přenos signálů po vedení patřící pánům Josephu Routinovi a C.E.L. Brownovi. Stejnosměrná složka byla doplněna střídavými napětími, která tak umožnila přenášet signál střídáním polarity napětí. V roce 1905 Chester Thoradson zapsal patent na dálkový odečet elektroměrů pomocí přenosu signálů po energetickém vedení.

V případě střídavého vedení se realizovala signalizace pomocí stejnosměrného proudu, která potřebovala stejnosměrné zdroje a jejich návaznost na střídavé vedení byla příliš složitá. Proto se od této aplikace upustilo a byla nahrazena signalizací pomocí střídavých proudů o vyšších frekvencích než 50 Hz. Pro odfiltrování signálu se používala horní propust popřípadě pásmová propust. Důležité bylo zajištění bezpečnosti samotného zařízení a obsluhy na něm. Používalo se jen pro jednoduchou signalizaci sloužící pro řízení provozu sítí. Později vznikaly jednoduché systémy, které pracovaly s adresní dálkovou signalizací určitého objektu případně jeho ovládání z povelového místa.

První pokusy přenosu signálu pomocí vysokofrekvenčního multiplexu po venkovních slaboproudých vedeních byly v letech 1908 v Německu Walterem Ruhmerem a poté roku 1911 také v USA Benjaminem Squierem. Tyto pokusy vyvolaly myšlenky použití stejného principu i u silnoproudých vedeních a vzniká tzv. vf elektrárenská telefonie. První pokus přenosu vf signálů po vysokonapěťových vedeních je datován na rok 1918, který byl testován na 60 kV vedení o délce 30 km v Japonsku. Technologie byla dále vyvíjena a s nástupem výroby vysokonapěťových kondenzátorů pro realizaci kapacitní vazby se začala rozvíjet po USA, Japonsku a Evropě.

V ČR v podniku Tesla Strašnice (dříve Telegrafia Praha) byla monopolním dodavatelem zařízení pro vysokofrekvenční přenos pro státy bývalé RVHP a zastřešoval i export do dalších zemí. Tesla Strašnice zaniká v 90. letech minulého století a s ním byla ukončena výroba této techniky. [10]

#### 2.1.2 Počátky HDO na silnoproudých vedeních

Přenos signálů sloužil především pro správu určitého místa pomocí adresní signalizace a indikace poruch na vedení. Využívalo se soustav nn vedení a zřídka vn vedení. V 30. letech se v energetice začaly zavádět systémy hromadného dálkového ovládání (HDO), kde se vysílal signál z centrálního místa do silnoproudé sítě, na který reagovaly zařízení buď smluveným signálem nebo spínanou funkcí. Typickou spínanou funkcí je v dnešní době přepnutí elektroměru na noční/denní proud. Signál se z centrálního místa šíří přes transformátory vv/vn, vn/vn až do nn sítí, kde jsou instalovány HDO přijímače.

Počátky HDO jsou zaznamenány již v roce 1923 ve Francii (Actadis 1923), v Německu roce 1933 (firma Siemens a jeho systém TELENERG) ve městě Potsdam a roku 1937 v Magdeburgu a Stuttgartu firma AEG (systém Transkomandosystém). V ČR proběhly pokusy před 2. sv. válkou, ale

používat se začínají až v roce 1960. Výzkumem se zabývala Tesla Strašice a Křížík Trutnov. Experimenty probíhaly v letech 1957-1959 v rozvodně Holešovice za použití trojfázového alternátoru jako zdroje o výkonu 100 kVA a frekvence byla proměnná v rozsahu 650 - 1600 Hz injektována do transformátoru 22/5 kV. V květnu 1960 uveden do zkušebního provozu vysílač 10 kVA, 1050 Hz v Chebu, který sloužil již pro komerční účely. V následujících deseti let se zprovoznili i další HDO vysílače na rozvodnách Přeštice, Rokycany, Horní Bříza, Nepomuk a Kralovice. [10],[11]

### **2.1.3 Současná situace HDO ve světě**

Hromadné dálkové ovládání na bázi tónové frekvence je v Evropě nejvíce rozšířeno v Německu, Rakousku, Švýcarsku, Francii, Holandsku, Belgii, Lucembursku, Slovenské republice, České republice a v Maďarsku. V zámoří je to pak zejména Nový Zéland, Austrálie a Jihoafrická Republika. V menším rozsahu se HDO využívá v USA, Švédsku, Itálii, Polsku, Jugoslávii, Velké Británii, Bulharsku, Portugalsku, Chorvatsku, Makedonii, Izraeli, Zambii, Rhodesii a Kongu. Nově se HDO rozšiřuje v zemích Jižní Ameriky. Celosvětově lze na bázi tónové frekvence předpokládat v provozu řádově desítky milionů přijímačů HDO.

V Německu slouží tomuto účelu dva dlouhovlnné vysílače provozované firmou Telekom. První vysílač je v Meinfingen, nedaleko Frankfurtu s frekvencí 129,1 kHz a výkonem 100kVA, druhý pak s frekvencí 139,0 kHz a výkonem 50kVA ve městě Burg ve východní části Německa. Signál z těchto dvou vysílačů pokrývá celé Německo a velké části sousedních zemí a dosahuje např. i do podstatné části České republiky. Firma EFR uvedla, že v roce 2005 měla instalovaných cca 461 000 přijímačů. [12]

### **2.1.4 Současná situace HDO v České republice**

V současné době jsou systémy HDO na území státu provozovány třemi podniky – ČEZ, PRE a E-ON. Praha má čtyři vysílače (Chodov a Malešice v majetku PRE, Mochov a Řeporyje v majetku ČEZ) s výkonem 800 nebo 1600 kVA a s ovládacím signálem HDO o frekvenci 216,6 Hz. ČEZ má v současné době 14 vysílačů do napěťové úrovně 110 kV s výkony 800 kVA, popřípadě 1600 kVA a většinou s frekvencemi 216,6 Hz (Severní Čechy výjimečně 183,3 Hz). Firma E-ON má vysílačů 7 a firma PRE dva výše zmiňované v Praze. Vysílačů HDO injektujících signál do napěťové úrovně vn má pak ČEZ cca 50 (většinou s frekvencí 283,3 Hz) a E-ON celkem 5 o frekvenci 216,6 Hz. Kromě několika malých oblastí na severní Moravě je prakticky celé území státu pokryto signálem HDO. Současný odhad počtu instalovaných přijímačů HDO činí pro celou ČR cca 1 380 000 kusů. [12]

### **2.1.5 Optický kabel v zemním laně**

V současnosti se ve vzdušných trojfázových vedení vvn zabudovává do ochranného metalického lana optický kabel, který umožňuje přenést velké datové toky a umožňuje pokrytí služeb energetiky pro komunikaci. Navíc umožňuje nabídku transportních služeb pro veřejné telekomunikační služby.

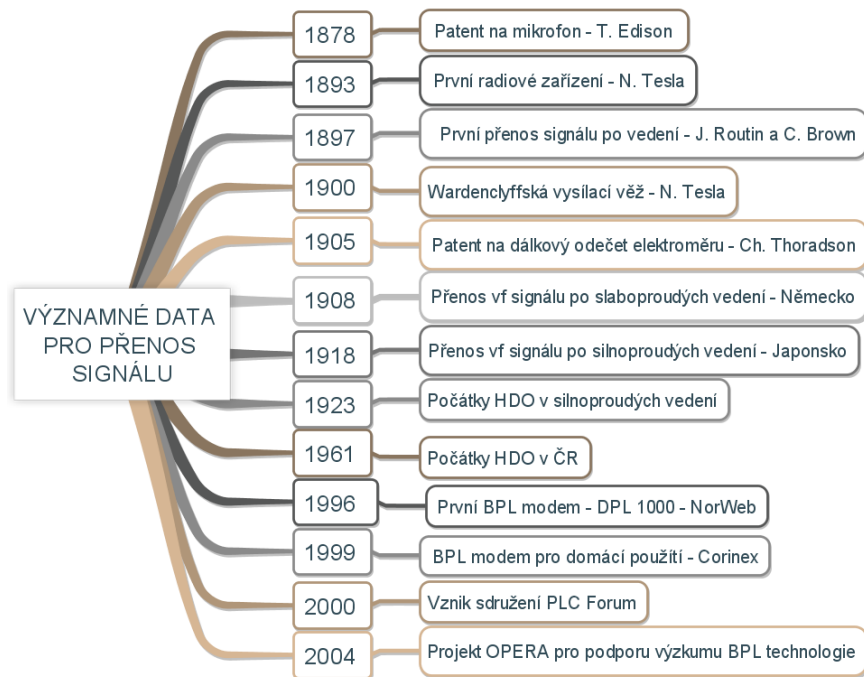




Obrázek 2.1: Zemní lano vvn se zabudovanými optickými kabely [10]

### 2.1.6 PLC Forum

V roce 2000 vzniká sdružení PLC Forum, které se zabývá problematikou okolo přenosu signálů po elektroenergetických vedeních. Postupně se rozrůstá na několik desítek členů např. ALCATEL, ASCOM, DS2, EasyPlug, EDF, ELCON, ILEVO AB, Intellon, Mitsubishi Corp., NEC Electronic, Motorola, RWE Powerline. Připojila se i řada technických universit jako např. Firenze (Itálie), Thessaloniki (Řecko), Lausanne (Švýcarsko) a v Německu Dresden, Karlsruhe a Paderborn. [10]



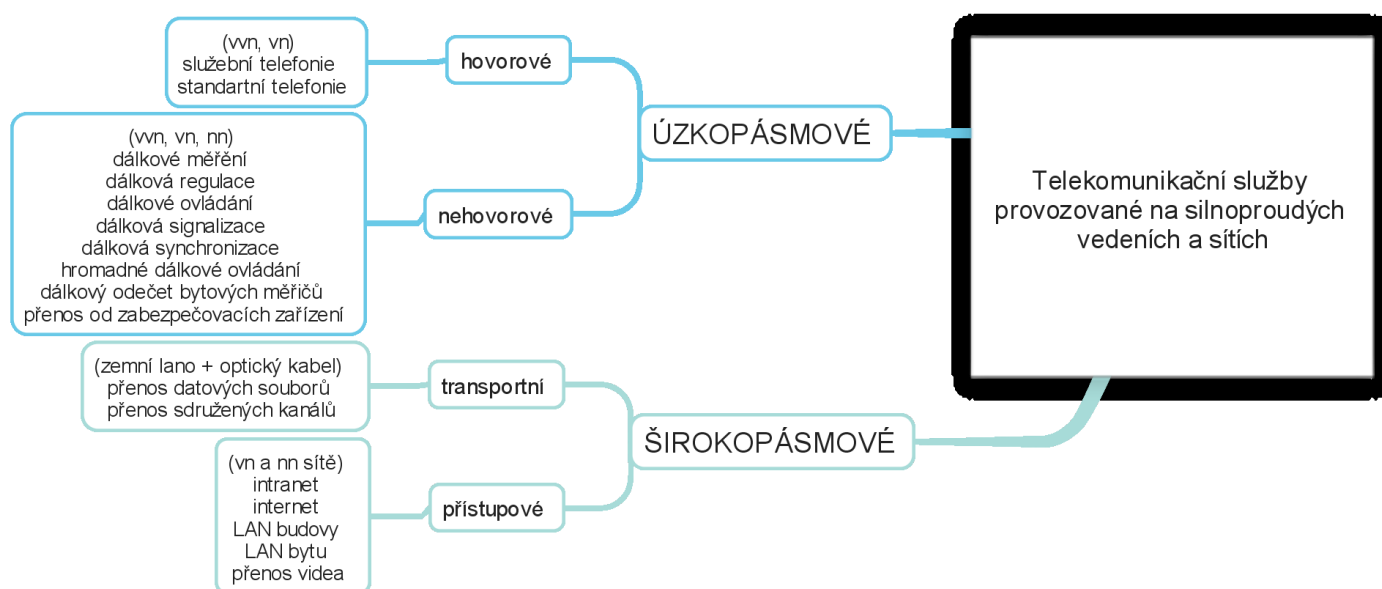
Obrázek 2.2: Významné data pro přenos signálů po elektroenergetických vedeních.

## 2.2 Power Line Comunnication

Pro využívání elektroenergetických vedeních pro přenos signálu se dnes zavádí zkratka PLC (Power Line Communication) nebo PLT (Power Line Telecommunication). Zkratka zahrnuje úzkopásmové i širokopásmové systémy, které přenášejí data po silových vedeních.

Název pásma	podhovorové	hovorové	středofrekvenční	vysokofrekvenční
Rozsah pásma	$f < 300 \text{ Hz}$	$f = 300 \text{ Hz} - 4 \text{ kHz}$	$f = 4 - 150 \text{ kHz}$	$f > 150 \text{ kHz}$
Užití	HDO	HDO	DS, DO, DM Telefonní služby Úzkopásmové datové služby	Telefonní služby Širokopásmové datové služby
Příklady užívaných kmitočtů a pásem	0 Hz, 50 Hz 166 Hz, 217 Hz	300 Hz – 2500 Hz 300 Hz – 3400 Hz 316 Hz, 425 Hz 1050 Hz	3 – 95 kHz 9 – 95 kHz 95 – 148,5 kHz	40 kHz – 750 kHz 1 MHz – 30 MHz

Tabulka 2.1: Typická kmitočtová pásma pro přenos sdělovacích signálů



Obrázek 2.3: Telekomunikační služby provozované na silnoprůdých vedeních.

## 2.3 Telekomunikační služby úzkopásmové

Úzkopásmové datové systémy nachází uplatnění především pro dálkový sběr dat, kde není potřeba přenášet velké datové objemy. Přenosové rychlosti se pohybují v řádu stovek kbps a pro průmyslové využití jsou dostačující, protože se jedná většinou o monitorování a regulaci. Typicky se tak může jednat o dálkové monitorování spotřeby elektroměrů nebo snímání dat z čidel v rozlehlé průmyslové oblasti. Možné využití můžeme najít i v domácím použití jako tzv. Smart House (chytrý dům), kdy lze v domě nainstalovat síť komunikačních prvků. S příslušným vybavením mohou řídit chod

činností domácnosti, například automatické zavlažování trávníku podle vlhkosti půdy, různé zabezpečovací systémy nebo inteligentní řízení vytápění domu.

## 2.4 Telekomunikační služby širokopásmové

Širokopásmové datové systémy jsou označovány nejčastěji zkratkou BPL (Broadband Power Line) nebo zkratky DBPL (Digital Broadband Power Line), BPR (Power Line Telecommunications) a PDSL (Power Digital Subscriber Line). Používají se pro vysokorychlostní přenos dat. Nevýhoda je, že jsou citlivé na elektromagnetické prostředí v distribučních sítích nízkého napětí a jejich vzdálenost je značně omezena na stovky metrů. V praxi se používají pro přenos hlasu, videa nebo také internetu.

### 2.4.1 Historický vývoj

Z hlediska historie první pokusy přenosu signálů pomocí širokopásmových přenosových systémů byly směřovány do oblastí telematiky, řízení a přenosu hovoru již v polovině minulého století. Přenos hovoru po vedení se nejčastěji používal v oblastech nn rozvodů známý jako bytový intercom. Přenos byl ale velmi omezován rušením v dané síti.

Pro širokopásmové přenosové systémy je klíčové poslední desetiletí minulého století, které přináší nejvíce inovací pro přenos signálů pro vysokorychlostní datových signálů. Důvodem byl také fakt, že se v té době začínala masově rozšiřovat síť Internet. Americká firma NorWeb (společná americká firma Nortel s britskou asociací elektroenergetických distribučních společností United Utilities) se stala velkým průkopníkem v oblasti širokopásmových modemů. V roce 1991-1993 po náročném výzkumu vyvinula technologii DPL (Digital Power Line) v Manchesteru. Témže měště byl roku 1996 realizován velký pilotní projekt s nasazením technologie v praxi. Širokopásmový modem se jmenoval DPL 1000 a jeho činnost byla mezi sekundární stranou transformátoru vn/nn a domácnostmi jednotlivých odběratelů. Skládal se ze 4 částí. Router připojený do sítě (Mainstation), přístupový uzel BPL na sekundární straně vn/nn transformátoru (Basestation), klientská BPL vstupní jednotka v domovním rozvaděči (Coupling Unit) a BPL modem, který byl zapojen do zásuvky v místnosti (Communications module). Přenosová rychlost dosahovala hranici 1 Mbit/s na vzdálenost kolem 300 metrů. V roce 1997 bylo úspěšně připojeno do jedné sítě 12 počítačů v Seymour Park Primary School v britském Traffordu.

Firma NorWeb provozovala později i další pilotní projekty u energetických společností (AEM, EnBW, Stockholm Energi, Sydkraft, Vattenfall, Edon), ale vzhledem k tehdejšímu pochybnostem o rentabilitě projektu v září 1999 ukončuje činnost. Obecně se dá říct, že rozvoj byl brzděn i nastupujícími technologiemi v přístupových sítích (ADSL, CATV).

V roce 1999 slovensko-kanadská firma Corinex uvádí na trh BPL modem určený pro lokální síť LAN v domovních energetických rozvodech s přenosovou rychlostí 350 kbit/s a dosahem maximálně 400 m.

Další testování BPL systémů prováděly firmy Ascom a RWE. Úspěšný byl projekt firmy RWE, který v roce 2000 v městě Leichlingen (Německo) dosáhl přenosových rychlostí 1,3 Mbit/s na 320 metrů od transformátoru a byla nasazena i aplikace VoIP.

V roce 2000 na výstavbě CeBIT vystavilo více než 20 firem z celého světa své produkty z BPL oblasti.

V lednu roku 2004 vzniká evropský projekt OPERA (Open PLC European Research Alliance) s čtyřletou působností. Jeho úkolem bylo zkoumat možnosti BPL a vyvinout novou generaci zařízení konkurence schopnou k ostatním přístupovým technologiím k síti. Také vytvořit standart a zajistit kompatibilitu mezi BPL systémy.

Významnými výrobci BPL modemů nebyly velké firmy, nýbrž menší firmy jako jsou Ascom, Corinex, DefiDev. Většina modemů pracuje na čípech španělské firmy DS2 (Design of Systems on Silicon), které jsou revolucí v oblasti BPL systémů. Čipy konkurují jiným technologiím pro přístupové sítě (např. Wifi, xDSL) a přenosové rychlosti dosahují až 200 Mbit/s za ideálních podmínek, které jsou v praxi takřka nedosažitelné vlivem elektromagnetického rušení v síti. [10]

### 3 Přenosové parametry elektroenergetických vedení

Při přenosu elektrické energie na velké vzdálenosti vznikají velké úbytky napětí. Úbytky napětí mají vliv na životnost spotřebičů (např. motory nebo osvětlení). Proto byla vytvořena norma (ČSN 33 2130), která udává, že úbytek napětí na vedení z rozvodny ke spotřebiči nesmí být větší než 3% v případě osvětlení a 5% v případě ostatního užití. Úbytek napětí rozvodna – spotřebič se měří na svorkách spotřebiče. Rozvodné sítě musí být tedy dimenzovány tak, aby úbytek napětí splňoval normu ČSN [13]. Toho dosáhneme pomocí parametrů vedení. Dělíme je na primární a sekundární.

Primární parametry určují elektrické vlastnosti vedení vztažené k jednotkové délce a jsou to:

1. Činný odpor (rezistence)  $R$  ( $\Omega/\text{km}$ )
2. Indukčnost  $L$  ( $\text{H}/\text{km}$ )
3. Kapacita  $C$  ( $\text{F}/\text{km}$ )
4. Svod  $G$  ( $\text{S}/\text{km}$ )

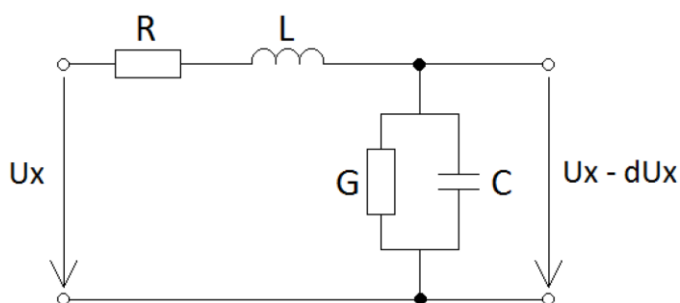
Sekundární parametry vedení určují přenosové vlastnosti vedení a jsou vypočteny z primárních parametrů. Jsou to:

1. Vlnová impedance  $|Z_0|$  ( $\Omega$ )
2. Měrná míra přenosu  $|\gamma|$  ( $\text{km}^{-1}$ )

Přenosové parametry vedení uvažujeme podle velikosti přenášeného napětí. U soustav nn a vn, kde je délka vedení v řádech několik desítek kilometrů, uvažujeme parametr činný odpor  $R$  a indukčnost  $L$ . U soustav vv a zv uvažujeme všechny parametry.

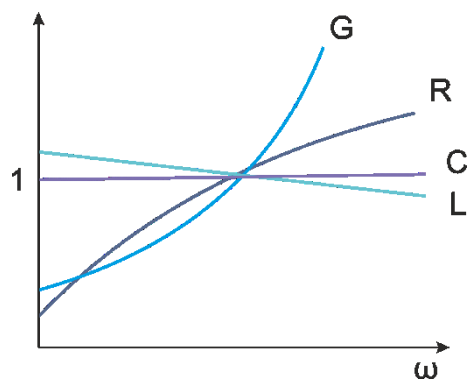
#### 3.1 Primární parametry vedení

Pokud nejsou primární parametry určeny přímo výrobcem, tak je lze spočítat pomocí zjednodušených empirických vzorců.



Obrázek 3.1: Náhradní schéma homogenního vedení

Činný odpor a svod s rostoucím kmitočtem silně rostou. U činného odporu je to vlivem skin efektu a tak se vodič chová jako by měl menší průřez. Svod vzrůstá vlivem rostoucích ztrát v dielektriku. [15]



Obrázek 3.2: Vliv kmitočtu na primární parametry vedení [15]

### 3.1.1 Činný odpor (rezistence) R

Velikost činného odporu se stanovuje třemi základními parametry. Jsou to měrný odpor, délka vedení a průřez vodičem. Další faktory, které ovlivňují činný odpor, jsou teplota, spojování vodičů a nerovnoměrnost vodičů. Činný odpor drátů elektroenergetického vedení lze počítat ze vztahu:

$$R = \frac{\rho_0 \cdot l}{S} \quad [\Omega] \quad (3.1)$$

kde:

$\rho_0$  – měrný odpor  $[\Omega \cdot m]$

$l$  – délka vedení  $[km]$

$S$  – plocha průřezu vodiče  $[mm^2]$

Teplota ovlivňující vedení je pak dána matematickým vztahem:

$$R = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_0)] \quad [\Omega] \quad (3.2)$$

kde:

$R_0$  – hodnota odporu při základní teplotě (např.  $20^\circ C$ )  $[\Omega]$

$\vartheta$  – hodnota zvýšené teploty  $[^\circ C]$

$\vartheta_0$  – základní teplota  $[^\circ C]$

$\alpha$  – teplotní součinitel odporu  $[^\circ C]$

Výrobci vedení užívají většinou v tabulkách odpor vztažený na jeden kilometr délky. Celkový odpor vedení se pak počítá vztahem:

$$R = r_k \cdot l \quad [\Omega] \quad (3.3)$$

kde:

$r_k$  – odpor jednoho kilometru vedení z tabulky výrobce vedení [ $\Omega/\text{km}$ ]

$l$  – délka vedení [ $\text{km}$ ]

$R$  – Vypočtený odpor uměrný k délce vedení [ $\Omega$ ]

### 3.1.2 Indukčnost $L$

Proud, který protéká vedením je časově proměnný a vytváří tak časově proměnný magnetický tok, který indukuje do vodiče napětí:

$$e = \frac{d\Phi}{dt} \quad [V] \quad (3.4)$$

kde:  $\frac{d\Phi}{dt}$  – časová změna magnetického toku [ $V/s$ ]

Toto indukované napětí působí proti změně magnetického toku a tím pádem také proti změně proudu:

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad [V] \quad (3.5)$$

kde:

$L$  – vlastní indukčnost smyčky [ $H$ ]

$\frac{di}{dt}$  – časová změna elektrického proudu [ $A/s$ ]

Indukce napětí se vytváří nejen ve vodiči, ale i v blízkosti ostatních vodičů. Z hlediska symetrických vedeních, které napájejí symetrickou zátěž, lze vyjádřit indukční vlivy provozní indukčností a proudem jedné fáze. V případě nesymetrické zátěže nebo nesouměrného vedení se indukční vlivy uvažují odděleně pomocí proudů všech fází a vzájemné indukčnosti. Matematický vztah pro indukčnost vedení je pak:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_{rv} \cdot l_1}{2 \cdot \pi} \ln \frac{d}{r} + \frac{\mu_0 \cdot \mu_{rv} \cdot l_1}{8 \cdot \pi} \quad [H] \quad (3.6)$$

kde:

$\mu_0$  – permeabilita vakua [ $H/m$ ]

$\mu_{rv}$  – relativní permeabilita [–]

$l_1$  – délka vodiče [ $m$ ]

$d$  – osová vzdálenost vodičů [ $mm$ ]

$r$  – poloměr vodiče [ $mm$ ]

Indukčnost se udává stejně jako resistance v jednotkách stažených k délce. Po dosazení do předchozího vzorce  $l_1 = 1000 \text{ m}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ ,  $\mu_{rv} = 1$  a převedení logaritmu přirozeného na dekadický dostaneme vzorec:

$$L = 0,46 \log \frac{d}{r} + 0,05 \mu_{rv} [\text{mH/km}] \quad (3.7)$$

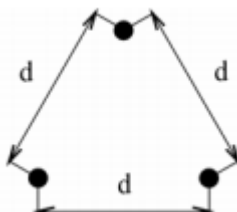
kde:

$d$  – osová vzdálenost vodičů [mm]

$r$  – poloměr vodiče [mm]

$\mu_{rv}$  – relativní permeabilita [–]

Induktivní reaktance má vzorec v případě jednofázového vedení nebo souměrného trojfázového vedení:



Obrázek 3.3: Souměrná vzdálenost vodičů u trojfázového vedení [14]

$$X_k = \omega \cdot \left( 0,46 \log \frac{d}{r} + 0,05 \mu_{rv} \right) \cdot 10^{-3} [\Omega/\text{km}] \quad (3.8)$$

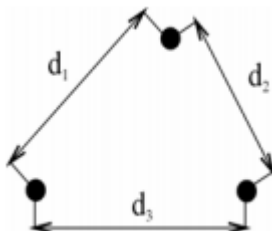
kde:

$d$  – osová vzdálenost vodičů [mm]

$r$  – poloměr vodiče [mm]

$\mu_{rv}$  – permeabilita [–]

$\omega$  – úhlový kmitočet napětí [rad/s]



Obrázek 3.4: Nesouměrná vzdálenost vodičů u trojfázového vedení [14]

Pokud je vedení nesouměrné, tak induktivní reaktance je vyjádřena vzorcem

$$X_k = \omega \cdot \left( 0,46 \log \frac{d_s}{r} + 0,05 \mu_{rv} \right) \cdot 10^{-3} [\Omega/\text{km}] \quad (3.9)$$

kde:

$d_s$  – střední geometrická vzdálenost vodičů [mm]

$r$  – poloměr vodiče [mm]

$\mu_{rv}$  – permeabilita [–]

$\omega$  – úhlový kmitočet napětí [rad/s]

Přičemž platí:

$$d_s = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3} [\text{mm}]$$



(3.10)

kde:

 $d_s$  – střední geometrická vzdálenost vodičů [mm] $d_1, d_2, d_3$  – vzdálenost vodičů [mm]

### 3.1.3 Kapacita C

Na vedení je kapacita ve vodiči proti zemi, vzájemná kapacita mezi vodiči a provozní celková kapacita. Pro výpočet provozní kapacity se používá zjednodušený vzorec:

$$C_p \cong \frac{0,0242}{\log \frac{d_s}{r_e}} \cdot 10^{-6} [\mu F/km]$$

(3.11)

kde:

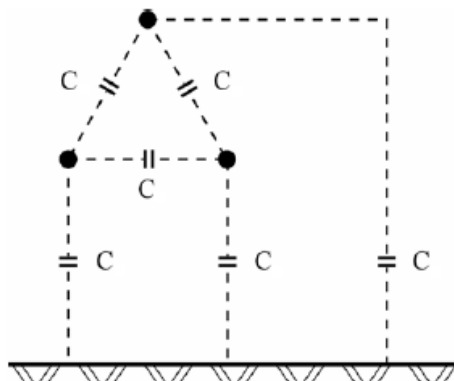
 $d_s$  – střední geometrická vzdálenost vodičů [mm] $r_e$  – poloměr vodiče [mm]

Přičemž platí:

$$d_s = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3} [mm]$$

(3.12)

kde:

 $d_s$  – střední geometrická vzdálenost vodičů [mm] $d_1, d_2, d_3$  – vzdálenost vodičů [mm]

Obrázek 3.5: Znáznornění kapacity mezi vodiči a zemí [14]

U nesouměrných trojfázových vedeních se používá transponování, což je vzájemné kroucení vodičů v určitých vzdálenostech. Díky tomu má každý vodič stejné parametry.

### 3.1.4 Svodový odpor G

Je dán nedokonalostmi izolačního odporu, ztrátami korónou a dielektrickými ztrátami u kabelu. Svodový odpor je reálnou složkou příčné admitance [S/km]. Způsobuje příčné ztráty (ztráty činného výkonu), které souvisí s meteorologickými vlivy, stavu izolace vlivem stárání, znečištění povrchu izolátoru například prachem. Izolátory se konstruují tak, aby svodový proud protékal velmi obtížně.

Koróna je světelný výboj, který může být doprovázen zvukovými efekty. Vzniká překročením intenzity elektrického pole s elektrickou pevností vzduchu (cca 30 kV/cm) a je ovlivňována meteorologickými vlivy, drsností povrchu vodiče, vzájemné vzdálenosti vodičů a na jejich průměru. Koróna ovlivňuje nejen činný výkon, ale také rušení telekomunikačních zařízení.

Ztráty způsobené svodem a korónou se udávají ve W/km. Například ztráty na 1 kilometr vedení korónou 10 kV a svodem za nepříznivého počasí budou mezi 20 až 35 W/km. [14]

## 3.2 Sekundární parametry vedení

Určují přenosové vlastnosti vedení a jsou vypočteny z primárních parametrů vedení.

### 3.2.1 Vlnová impedance $|Z_C|$

Vlnová impedance je někdy nazývána jako charakteristická impedance. Představuje poměr mezi napětím a proudem (Ohmův zákon) v každém místě vedení. Jako jediný sekundární parametr vedení není vztažen k jednotce délky. Je to komplexní veličina a počítá se z primárních parametrů vedení. Vlnovou impedanci musíme znát, pokud chceme spojovat vedení. Každou impedanci vedení si můžeme představit jako prostředí, v kterém se šíří střídavé nebo stejnosměrné proudy různou rychlostí, přičemž platí, že s rostoucí velikostí vlnové impedance se zmenšuje šíření vln. Pokud spojíme vedení s různými impedancemi, dojde k odrazům vln. Zvyšuje se tak útlum, rychlost šíření se zpomalí a tvoří se přeslechy. V praxi se impedance vedení přizpůsobuje pomocí linkových transformátorů. Vlnová impedance je dána vztahem:[15]

$$|Z_C| = \operatorname{Re} Z + \operatorname{Im} Z \quad [\Omega] \quad (3.13)$$

kde:

$\operatorname{Re} Z$  – reálná část

$\operatorname{Im} Z$  – imaginární část

$$|Z_C| = \frac{|U|}{|I|} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad [\Omega] \quad (3.14)$$

kde:

$R$  = resistance  $[\Omega/\text{km}]$

$\omega$  = úhlová rychlost  $[\text{rad}/\text{km}]$

$L$  = indukčnost  $[\text{H}/\text{km}]$

$C$  = kapacita  $[\text{F}/\text{km}]$

$G$  = svodový odpor  $[\Omega/\text{km}]$

U vysokofrekvenčních vedeních (blíží se bezztrátovým vedením) můžeme ve vztahu pro vlnovou impedanci zanedbat odpor  $R$  a svod  $G$ . Vlnovou impedanci pak považujeme za reálnou.

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [\Omega] \quad (3.15)$$

kde:

$L = \text{indukčnost} \text{ [H/km]}$

$C = \text{kapacita} \text{ [F/km]}$

### 3.2.2 Měrná míra přenosu $|\gamma|$

Měrná míra přenosu je nazývána též jako konstanta šíření a popisuje ztráty v prostředí. Jedná se o komplexní veličinu složenou z měrného útlumu a měrného fázového posuvu. [15] Měrná míra přenosu je dána vztahem:

$$|\gamma| = \alpha + j\beta \quad [km^{-1}] \quad (3.16)$$

kde:

$\alpha = \text{reálná část, měrný útlum} \text{ [dB/km]}$

$\beta = \text{imaginární část, měrný fázový posuv} \text{ [rad/km]}$

$$|\gamma| = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} \quad [km^{-1}] \quad (3.17)$$

kde:

$R = \text{resistance} \text{ [\Omega/km]}$

$\omega = \text{úhlová rychlost} \text{ [rad/km]}$

$L = \text{indukčnost} \text{ [H/km]}$

$C = \text{kapacita} \text{ [F/km]}$

$G = \text{svodový odpor} \text{ [\Omega/km]}$

Vztah pro bezztrátové (vysokofrekvenční) vedení pak bude:

$$|\gamma| = j\omega\sqrt{LC} = j\beta [km^{-1}] \quad (3.18)$$

V případě, že se jedná o nezkreslující vedení, bude vztah: [18]

$$|\gamma| = \sqrt{RG \left(1 + \frac{j\omega L}{R}\right) \cdot \left(1 + \frac{j\omega C}{G}\right)} = \sqrt{RG} \left(1 + \frac{j\omega C}{G}\right) [km^{-1}]$$

(3.19)

### 3.2.3 Měrný útlum $\alpha$

Měrný útlum je reálnou částí měrné míry přenosu a je důležitý sekundární parametr, který ovlivňuje dosah vedení. Počítá se z primárních parametrů a je závislý na kmitočtu, protože činný odpor a svod s rostoucím kmitočtem silně roste. Další faktor ovlivňující měrný útlum je vliv na meteorologické podmínky. Při nepříznivém počasí se měrný útlum zvětšuje.[15] Měrný útlum je dán vztahem:

$$\alpha = \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) \cdot 8,689 [db/km]$$

(3.20)

kde:

$R = resistance [\Omega/km]$

$L = indukčnost [H/km]$

$C = kapacita [F/km]$

$G = svodový odpor [\Omega/km]$

Měrný útlum nezkreslujícího vedení [18]:

$$\alpha = \sqrt{RG}$$

(3.21)

kde:

$R = resistance [\Omega/km]$

$G = svodový odpor [\Omega/km]$

### 3.2.4 Měrný fázový posuv $\beta$

Měrný fázový posuv je imaginární částí měrné míry přenosu a udává zpoždění fáze šířící se vlny ve vedení na jeden kilometr. [15]

$$\beta = \omega \sqrt{LC} [rad/km]$$

(3.22)

kde:

$\omega = úhlová rychlost [rad/km]$

$L = indukčnost [H/km]$

$C = \text{kapacita [F/km]}$

### 3.2.5 Induktivní reaktance $X_L$

Induktivní reaktance se jeví jako zdánlivý odpor vedení, které má svou indukčnost (viz primární parametr indukčnost) proti průchodu střídavého proudu. U stejnosměrných proudů se projevuje pouze v případě přechodových dějů. Je definována jako součin úhlové frekvence a indukčnosti.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \text{ [}\Omega/\text{km]} \quad (3.23)$$

kde:

$f = \text{frekvence [Hz]}$

$L = \text{indukčnost [H/km]}$

### 3.2.6 Kapacitní reaktance $X_C$

Kapacitní reaktance se bere v potaz stejně jako u induktivní reaktanci pouze u střídavého proudu. Stejnosměrný proud kondenzátorem neprochází, neboť odpor dielektrika je příliš vysoký. Je definována jako převrácená hodnota součinu úhlové frekvence a kapacity.

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \text{ [}\Omega/\text{km]} \quad (3.24)$$

kde:

$f = \text{frekvence [Hz]}$

$C = \text{kapacita [F/km]}$

### 3.2.7 Induktivní susceptance $B_L$

Induktivní susceptance se též nazývá induktivní vodivost vedení. Je převrácenou hodnotu induktivní reaktance a jednotkou je Siemens na jednotku délky.

$$B_L = \frac{1}{X_L} = 2\pi \cdot f \cdot L \text{ [S/km]} \quad (3.25)$$

kde:

$f = \text{frekvence [Hz]}$

$L = \text{indukčnost [H/km]}$

### 3.2.8 Kapacitní susceptance $B_C$

Kapacitní susceptance se též nazývá kapacitní vodivost vedení. Je převrácenou hodnotu kapacitní reaktance a jednotka je Siemens na jednotku délky.

$$B_C = \frac{1}{X_C} = 2\pi \cdot f \cdot C \text{ [S/km]} \quad (3.26)$$

kde:

$f = \text{frekvence [Hz]}$

$C = \text{kapacita [F/km]}$

### 3.2.9 Podélná impedance $|Z|$

Podélná impedance je komplexní parametr vedení, který je vztažen k jednotce délky. Reálnou složkou je rezistence vedení a imaginární složkou pak induktivní reaktance. Odpor a induktivní reaktance jsou v sérii.

$$|Z| = R + jX_L \text{ [\Omega/km]} \quad (3.27)$$

kde:

$R = \text{rezistance vedení na jednotku délky [\Omega/km]}$

$X_L = \text{induktivní reaktance vedení na jednotku délky [\Omega/km]}$

### 3.2.10 Příčná admitance $|Y|$

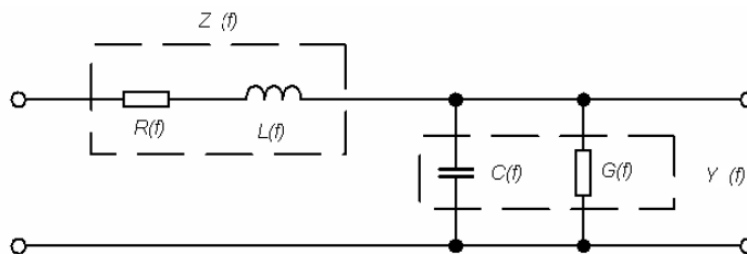
Příčná admitance je komplexní parametr vedení, který je vztažen k jednotce délky. Reálnou složkou je svod vedení a imaginární složkou pak kapacitní susceptance. Svod a kapacitní susceptance jsou paralelně.

$$|Y| = G + jB_C \text{ [S/km]} \quad (3.28)$$

kde:

$G = \text{rezistance vedení na jednotku délky [\Omega/km]}$

$B_C = \text{kapacitní susceptance vedení na jednotku délky [\Omega/km]}$



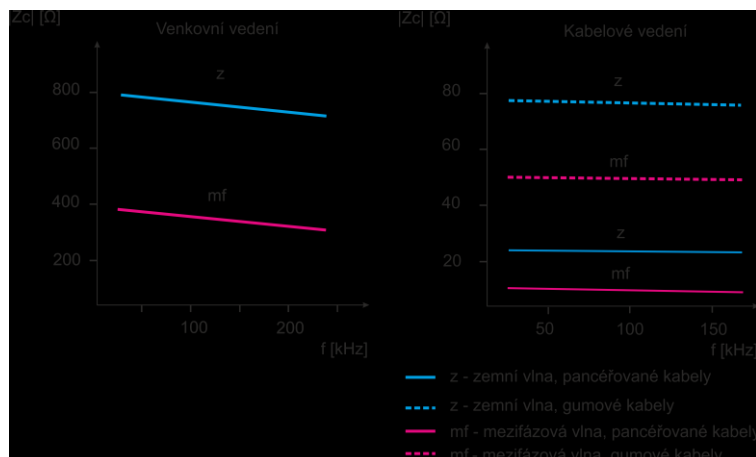
Obrázek 3.6: Definice podélné impedance a příčné admitance [16]

### 3.3 Sekundární parametry vlny zemní a mezifázové

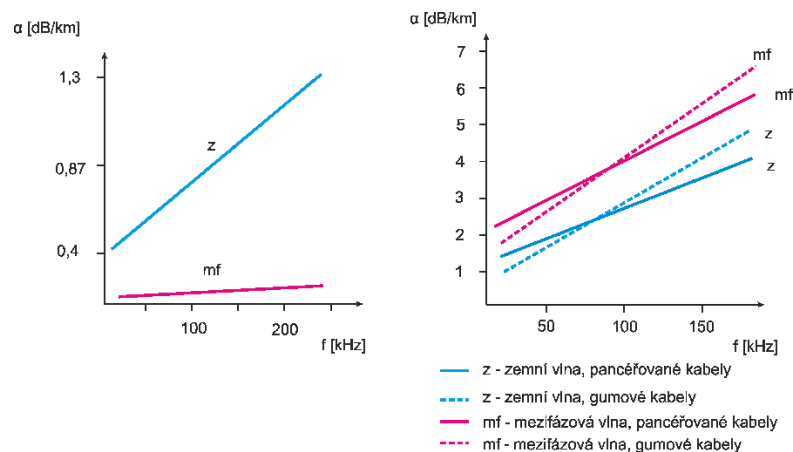
Vzhledem k tomu, že elektroenergetické vedení je primárně určeno pro přenos elektrické energie a nikoliv pro přenos dat, potýkáme se s mnoha úskalími. Musíme rozlišovat přenos informací po nerozvětvených dálkových venkovních vedeních vvn a vn a šíření dat po rozvětvených distribučních vedeních vn a nn. Také je potřeba rozlišit, zdali se jedná o přenos úzkopásmových signálů nebo širokopásmových.

Venkovní silnoproudá vedení vvn a vn slouží pro přenos trojfázové soustavy, přičemž vzdálenost mezi jednotlivými fázovými vodiči a zemským povrchem je srovnatelná. Díky tomu ztráty vlivem země mají významný vliv na útlum signálu a zahrnují se do celkového hodnocení přenosu. Signálová energie se indukuje na trase dlouhých vedeních i do ostatních vodičů ve svazku a je tak šíření signálu teoreticky prováděno pomocí mnohovlnného procesu, přičemž každá vlna má své přenosové parametry. Vlny se tvoří například mezi fázemi 1 a 2, fázemi 1 a 3, fázemi 2 a 3, jednotlivými fázemi a ochranným vodičem, mezi celkovým svazkem a zemí a podobně.

V praxi se uvažují pouze dvě vlny a to vlna mezifázová, která se šíří skrze svazek fázových vodičů a vlna zemní, která se šíří mezi svazkem vodičů a zemí. Pro obě tyto vlny se vyvozují dvě soustavy primárních parametrů a jim odvozených sekundárních parametrů.



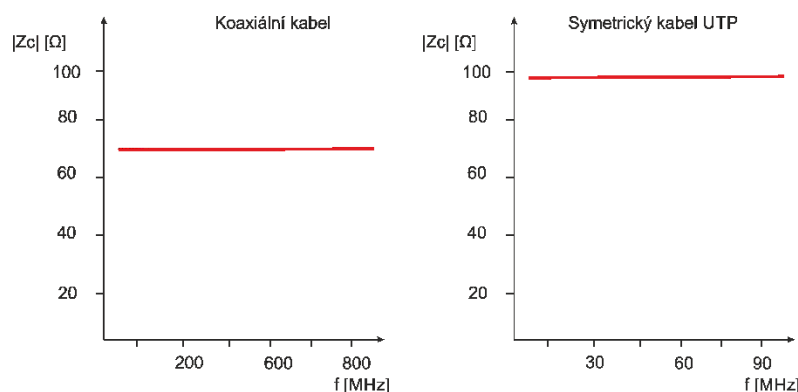
Obrázek 3.7: Průměrné hodnoty vlnové impedance v závislosti na frekvenci pro silnoproudé vedení [10]



Obrázek 3.8: Průměrné hodnoty měrného útlumu v závislosti na frekvenci pro silnoproudé vedení [10]

Měrný útlum zemní vlny je mnohem větší než útlum vlny mezifázové a uvažuje se na vzdálenosti delší než 20 km v pásmu nad 30 kHz pouze vlna mezifázová a vliv odrazu na konci vedení se zanedbává. Vstupní impedance je takřka konstantní a útlum rovnoměrně vzrůstající. Naopak u krátkých vedení převažuje přenos vlnou zemní. Impedance může být značně rozvlněná a útlum kolísá v širokých mezích. Závislost útlumu elektroenergetických venkovních vedeních také závisí na meteorologických podmínkách. Obecně lze říct, že venkovní silnoproudá vedení vn a vn jsou vhodná pro přenos signálu od nejnižších kmitočtů až po řádově stovky kHz. U silnoproudých kabelech je přenosový útlum větší a vlnová impedance menší než u silnoproudých venkovních vedeních. Výhodou je odolnost proti meteorologickým vlivům a menší nežádoucí vyzařování díky mírnému zkrutu vodičů. [10]

S porovnáním silnoproudých vedeních a kabelů pro přenosovou techniku zjistíme, že koaxiální kabel a UTP kabel CAT5e má vlnovou impedanci o něco málo větší než pancéřovaný silnoproudý kabel. Kabely pro přenosovou techniku jsou konstruovány na vysoké frekvence v řádu desítky megahertz až jednotky gigahertz. Vlnová impedance kabelů pro přenosovou techniku se ještě různí podle typu kabelu.

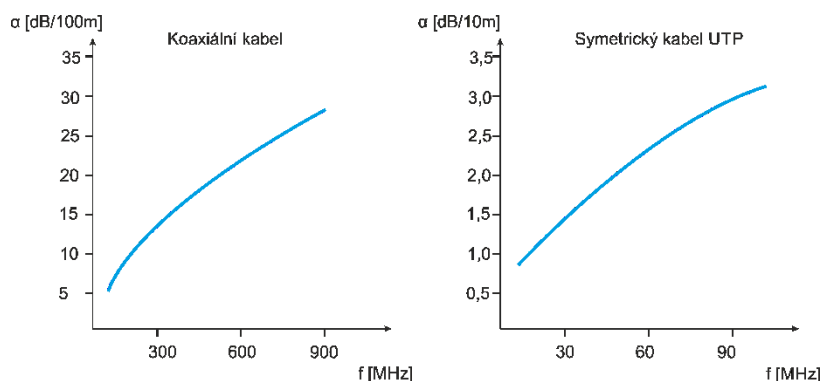


Obrázek 3.9: Průměrné hodnoty vlnové impedance v závislosti na frekvenci pro asymetrický a symetrický kabel [15],[25]

Silnoproudá vedení jsou určena pro přenos elektrické energie a tak maximální délka vedení není určována. Kabely pro přenosovou techniku pracují na vysokých frekvencích, jejich dosah je limitován vlivem vzrůstajícího měrného útlumu. Maximální délka UTP kabelu, kdy jsou zaručeny přenosové



parametry výrobcem je zhruba sto metrů. Koaxiální kabel pracuje na frekvencích v jednotkách gigahertz a vzdálenost je maximálně 150 metrů. Opět záleží na kvalitě a typu kabelu. Obecně lze říct, že silnoproudé kabely mají menší měrný útlum než kabely pro přenosovou techniku, ale použitelná frekvence je mnohem menší.



Obrázek 3.10: Průměrné hodnoty měrného útlumu v závislosti na frekvenci pro asymetrický a symetrický kabel [15],[25]

### 3.4 Problematika šíření signálu v rozvětvených nehomogenních vedení

Rozvětvené vedení jsou typické pro distribuční část elektroenergetických sítí. Vedení je buď kabelové nebo venkovní a přenos signálů je prováděn i přes další části distribuční soustavy, například přes transformátor. Jedná se tak o rozvětvené nehomogenní vedení.

S rostoucí frekvencí signálů a zvyšující se šířkou přenosového kanálu je přenos signálů v rozvětvených vedeních komplikovanější, ať už z hlediska elektromagnetického vyzařování, elektromagnetické odolnosti nebo bezpečnostní vazby na silnoproudá vedení pod napětím. Je tedy vhodné rozlišit, jestli se jedná o přenos úzkopásmového nebo širokopásmového signálu. Úzkopásmové signály se používají například v HDO, kde se jedná jen o přenos ovládací frekvence v rozmezí stovek Hz a nízká je také přenosová rychlost. Druhou možností využití úzkopásmových signálů je pro účel elektrárenské telefonie, kde se jedná o přenos signálů v pásmu např. 40 – 750 kHz s šířkou kanálu 2,5 kHz nebo 4 kHz po venkovních vedeních vn a vn. Nejdůležitější aplikací úzkopásmových PLC signálů najdeme v lokální telematice, kdy probíhá přenos dat v pásmu do 150 kHz a s přenosovou rychlostí řádově stovky kbit/s. Širokopásmové signály se používají v distribučních sítích a v domácnostech ve frekvenčním rozsahu jednotek až stovek MHz. [10]

### 3.5 Rušení u PLC

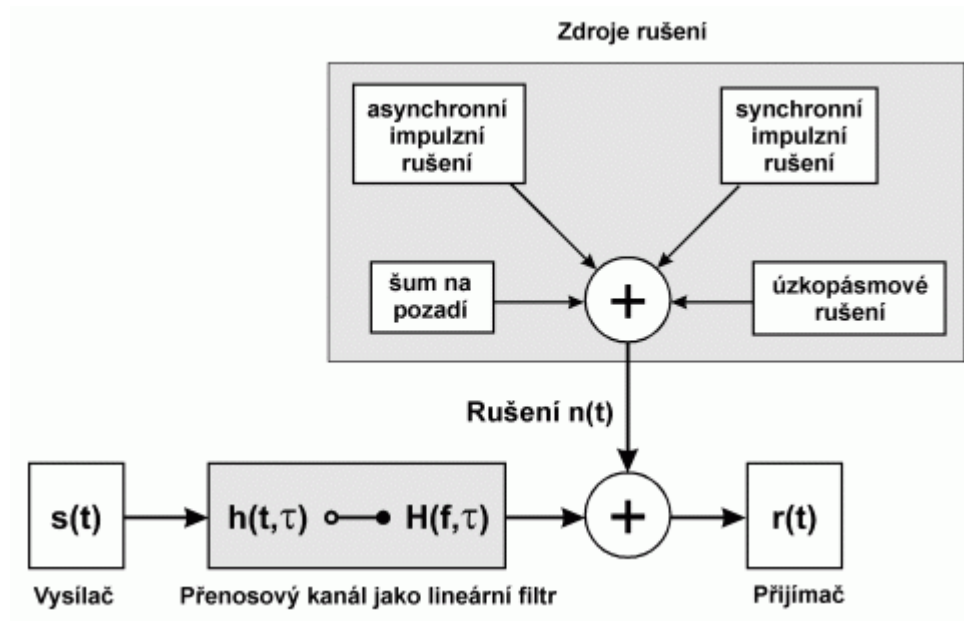
Každé připojené PLC do sítě může být samotným zdrojem rušení nebo může být rušeno jinými zařízeními připojeným v blízkosti. U systému PLC rozlišujeme tři druhy šumu. [19]

1. Šum na pozadí – je přítomen v síti vždy. Jeho vznik je zapříčiněn velkým počtem připojených zařízení vykazující šum o nízké intenzitě, který má proměnlivé parametry v čase. Popisuje se spektrální výkonovou hustotou PSD (Power Spectral Density). PSD klesá s rostoucí frekvencí a pohybuje se v rozsahu od desítek Hz do 20 kHz. Nad 20 kHz se objevuje takzvaný bílý šum a jeho PSD je při 150 kHz řádově tisíckrát menší než při 20 kHz.

2. Úzkopásmové rušení – Způsobují ho zejména spínané procesy, měniče, televize, počítačové monitory a žárovky. Vyšší frekvence úzkopásmového rušení pochází z rozhlasových stanic, které vysílají v středovlnném a krátkovlnném pásmu. Jeho amplituda se mění v průběhu dne díky odrazům ve stratosféře. Průběh rušení má tvar úzkých špiček s vysokým PSD.

3. Impulsní rušení - Vzniká v energetických sítích, kde jsou připojeny spínané zdroje, kolektorové motory nebo tyristorové regulátory. Je charakterizován krátkými napěťovými špičkami s délkou trvání od stovek mikrosekund až jednotek milisekund. Úroveň PSD se pohybuje od 10 dB až 50 dB. Impulsní rušení se dělí na dva druhy:

- a) Asynchronní – způsobují ho připojené spínací prvky v distribučních sítích
- b) Synchronní – způsobují ho napěťové konvektory a stmívače.

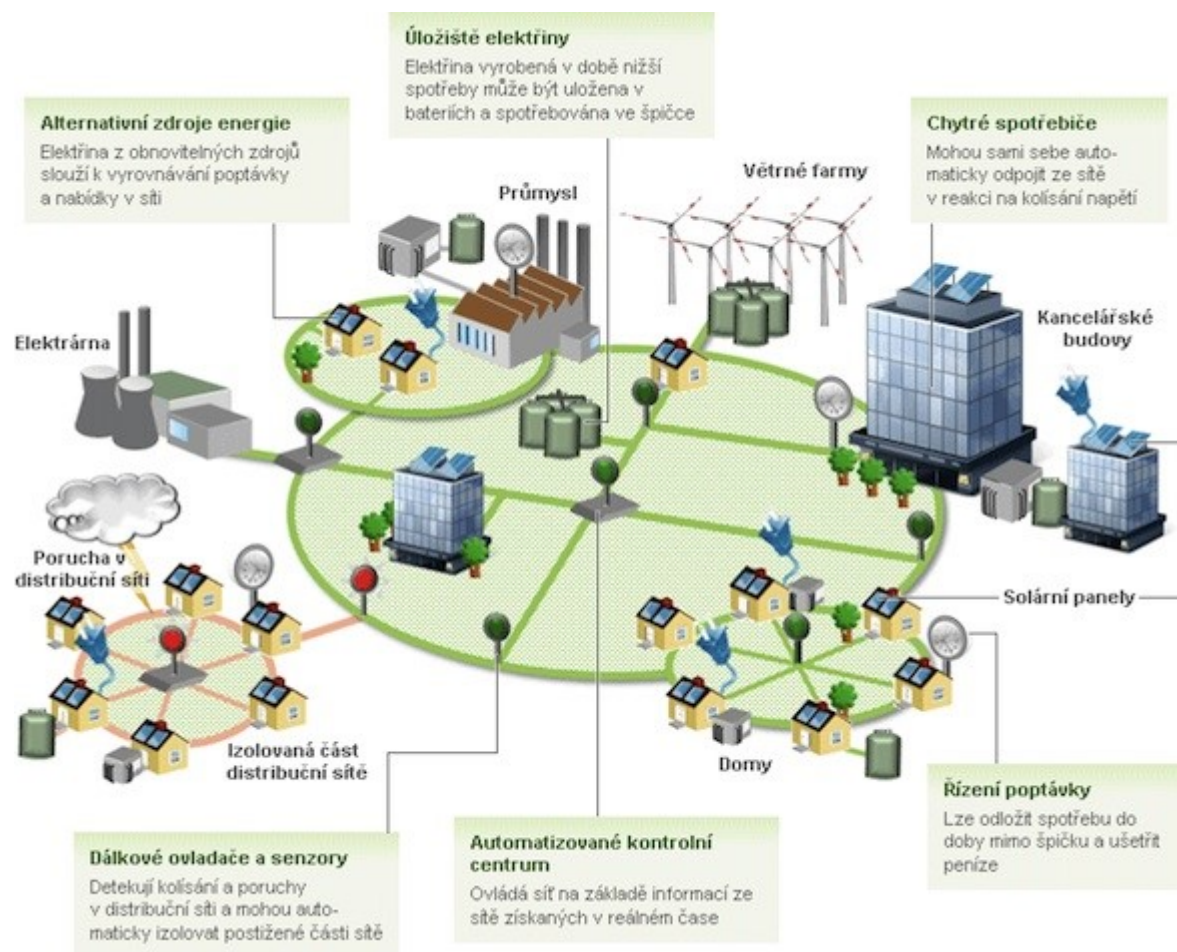


Obrázek 3.11: Zobecněné schéma PLC přenosové cesty a možných zdrojů rušení.[19]

## 4 Současná situace využívání v ČR a ve světě.

### 4.1 Inteligentní síť SmartGrids

Inteligentní síť nazývaná též jako chytrá energetická síť je v současné době oblast, do které se investuje mnoho finančních prostředků do vývoje, ať už ze strany energetických společností nebo států. Tyto sítě mají monitorovat dodávku a odběr energií nejen elektrických, ale také vody a plynu a optimální cestou je přenést k zákazníkovi.



Obrázek 4.1: Grafické znázornění funkce inteligentních sítí [20]

Základem inteligentních sítí jsou aktuální informace o stavu sítě, které putují do řídicích center distributorů. Tyto informace jsou zpětně poskytovány spotřebiteli, který může sledovat svou aktuální spotřebu, aktuální cenu poskytovaných energií a podle toho například plánovat svou spotřebu dopředu. Velkou výhodou těchto sítí je tedy okamžitá informace o spotřebě a odpadá potřeba platby měsíčních záloh a roční fakturace. Spotřebitel si tak může vybrat pro sebe co nejefektivnější tarif, stejně jak jsme zvyklí u mobilních operátorů. Inteligentní síť může zabránit kolapsu elektrické sítě, tzv. blackoutu, kdy se může v reálném čase reagovat na výkyvy elektrické energie pocházející z větrných nebo fotovoltaických elektráren.

Přehled výhod pro spotřebitele vycházející z využití inteligentních sítí:

- Vzdálený odečet dat v reálném čase
- Využívání nových tarifů
- Lepší podpora dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů od spotřebitelů
- Okamžitý přehled spotřeby energií v domácnosti na dálku (například skrze internet)
- Snížení neoprávněných (černých) odběrů

Přehled výhod pro dodavatele vycházející z využití inteligentních sítí:

- Vzdálená správa měřidel
- Lepší přehled o odběrných místech
- Sběr dat o spotřebě pro vyhotovení analýzy
- Lepší dispečerské řízení
- Rychlé odhalení neoprávněných odběrů

#### 4.1.1 Tradiční elektroměr vs. inteligentní elektroměr

Tradiční elektroměr, který je v současné době využíván v domácnostech, měří spotřebu elektrických energií na odběrném místě. Data jsou ukládány do registru, který musí být jednou ročně odečten pracovníkem poskytovatele energií. Elektroměr musí být umístěn na dostupném místě, aby pracovník mohl registr odečíst i když není spotřebitel doma. Data z registru se dále zpracovávají v zákaznickém systému a podle nich se vystavuje faktura. Žádná data o spotřebě se nedají získat v průběhu dne či týdne a pro potřeby plánování a pro řízení sítě zákazníků kategorie maloodběr využívají statistické metody, tzv. typové diagramy dodávky.

Inteligentní elektroměr má výhodu, že se data měří v pravidelných nastavených intervalech a ukládají do své paměti. Kromě toho také zaznamenávají kvalitu dodávaného proudu tím, že se měří přepětí, podpětí, odchylky od požadované frekvence a další údaje. Inteligentní elektroměr také zaznamenává případné nepovolené napadení například magnetickým polem nebo mechanickým zásahem. Data s elektroměru jsou předávány do datových center bez potřeby fyzického odečtu pracovníkem od poskytovatele energií. Data také slouží k lepšímu technickému řízení sítě nebo kvalitnějšímu obchodování nákupu energií. [21]

#### 4.1.2 Souvislost inteligentních sítí s obnovitelnými zdroji

Obnovitelné zdroje jsou jedním z hlavních důvodů vývoje těchto sítí. Fotovoltaické i větrné elektrárny jsou nepředvídatelné a jejich masivní nasazení může ohrozit stabilitu naší přenosové soustavy. Kolaps přenosové soustavy vzniká náhlou výrobou elektrické energie v krátkém čase. Přenosová soustava má své parametry a při nadměrné výrobě elektrické energie nebude z technických důvodů možné tuto energii přenést. Při kolapsu se odpojuje problematická větev elektroenergetického vedení a spotřebitel je tak bez dodávky proudu.

Inteligentní sítě mají kolapsům zamezit díky obousměrné komunikaci zařízení, akumulárních prvků a drobných výroben obnovitelné energie. Možný kolaps se tak díky komplexním informacím a adaptivním algoritmům může řešit mnohem efektivněji. [24]

#### 4.1.3 Současný stav inteligentních sítí v Evropském kontextu

Impulz pro rozvoj inteligentních sítí je evropský SET Plan (Strategic Energy Technology Plan), který má snížit emise skleníkových plynů o 20% oproti úrovni z roku 1990. Dále má být v Evropě podíl vyrobené elektřiny z obnovitelných zdrojů o 20% vyšší a zvýšit se má také energetická účinnost. V roce 2010 je SET Plan podpořen Evropskou průmyslovou iniciativou pro chytré sítě (EEGI), která je tvořena technologickými společnostmi a dodavateli energií. Cílem EEGI je demonstrovat projekty po celé Evropě a nasbírat zkušenosti funkčními celky SmartGrids. V současné době probíhá několik těchto projektů po celé Evropě.

##### 4.1.3.1 Česká republika

Česká energetické společnosti mají velký zájem o nasazení inteligentních sítí v budoucnosti. V současné době společnost ČEZ provozuje svůj pilotní projekt ve Vrchlabí, Jeřmanicku a Pardubicích. V těchto oblastech je dohromady nainstalováno přes 30 tisíc inteligentních elektroměrů, které měří a sledují odběr elektrické energie u spotřebitelů. Nejvýznamnější projekt je spuštěn ve Vrchlabí, které si společnost ČEZ vybralo díky ideálnímu umístění a vhodné velikosti oblasti. Existence velkého počtu zapojitelných obnovitelných zdrojů v této oblasti je ideální pro nabírání zkušeností s pilotním projektem inteligentních sítí. Vrchlabí se nachází blízko národního parku Krkonoše a ekologický dopad je přívětivý. Projekt je podporován i samotným městem. Společnost PRE má spuštěn malý pilotní projekt na území Prahy.

##### 4.1.3.2 Itálie

Od roku 2006 má v Itálii každá nová domácnost ze zákona povinnost mít nainstalované inteligentní elektroměry. V roce 2011 je teoreticky instalovaných 95% (32 milionů italských domácností) inteligentních elektroměrů, které jsou připraveny na budoucí nasazení SmartGrids. Na jihu Itálie provozuje pilotní projekt energetická společnost Enel s cílem otestovat aktivní řízení decentralizovaných zdrojů a spotřeby distribuční sítě. Testování je zaměřeno hlavně na obnovitelné zdroje jako fotovoltaické elektrárny nebo větrné elektrárny a v projektu má být zapojeno přes 8000 odběratelů.

##### 4.1.3.3 Španělsko

V regionu Valencie se spouští projekt inteligentních sítí a měření v roce 2010. Zapojeno je přes sto tisíc domácností. Cílem projektu je nabrat zkušenosti s řízením nn a vn distribučních sítí pro víceúrovňovou implementaci Smart Meteringu (inteligentní měření).

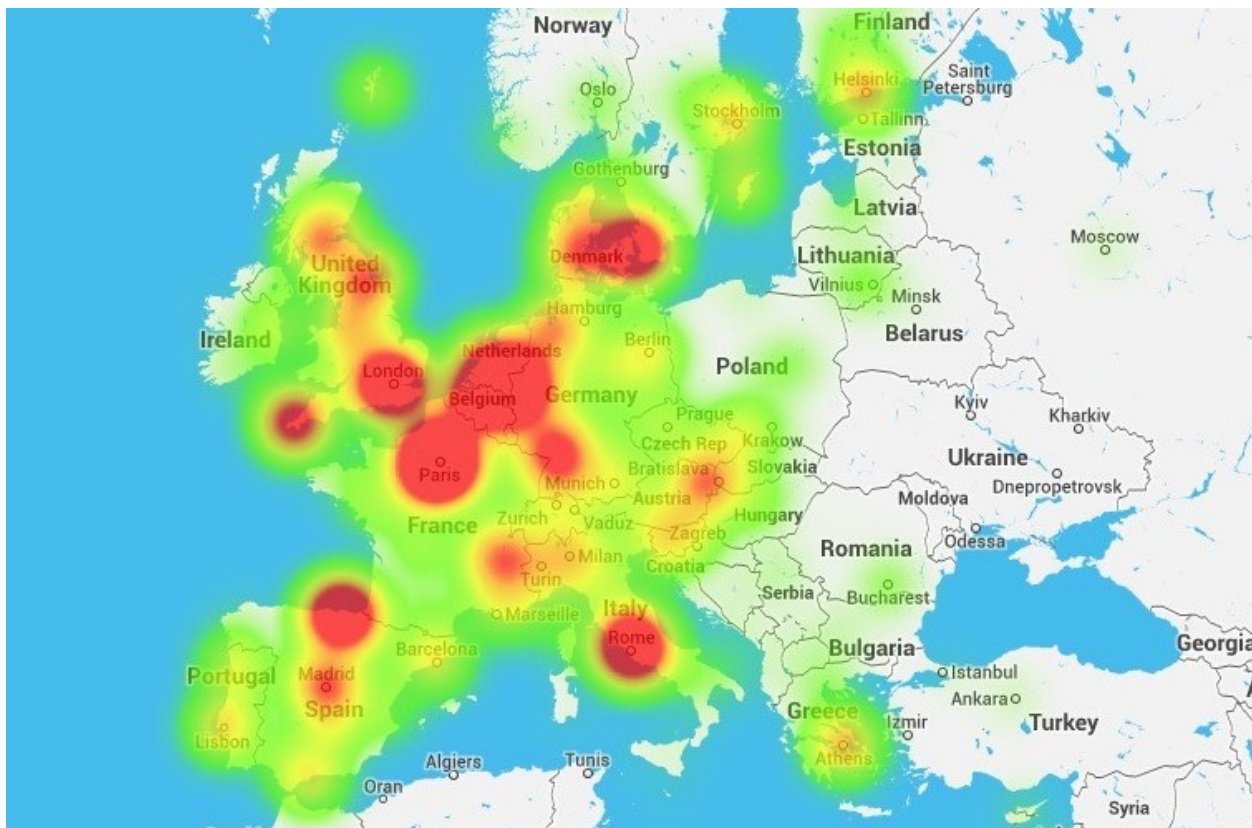
##### 4.1.3.4 Německo

V 2009 projekt MeRegio byl spuštěn na jihu Německa v průmyslovém regionu Karlsruhe-Stuttgart. V projektu bylo zapojeno 1000 odběratelů především průmyslových výrobních a skladovacích podniků. Další německý projekt je spuštěn v Mannheimu pod názvem Model City Mannheim. Mnoho dalších projektů bude v Německu teprve spuštěno, ale obecně se dá říct, že koncept inteligentních sítí je znatelně podporován distribučními firmami, univerzitami a také vládou.

##### 4.1.3.5 Francie

Francie také nezaostává ve spouštění pilotních projektů. V roce 2010 společnost ERDF spouští pilotní projekt ve dvou regionech. Zapojeno je přes 300 tisíc domácností. Na základě zkušeností

získaných v pilotním projektu se plánuje instalovat přes 35 milionů inteligentních elektroměrů do roku 2017. Společnost ERDF buduje na jihu Francie novou architekturu vn a nn distribučních sítí, která zahrnuje integraci lokálních obnovitelných zdrojů, akumulace vyrobené elektrické energie, dobíjecích stanic pro elektromobily a koncepce inteligentních domů. [21]



Obrázek 4.2: *Mapa koncentrace projektů SmartGrids [22]*

## 4.2 Využívání PLC jako přístupové sítě

Širokopásmový přístup na internet může být realizován různými technologiemi. Nejznámější technologie je od firmy DS2, která má v laboratorních podmínkách přenosovou rychlost 400 MB/s na fyzické vrstvě. V reálných podmínkách je ale tato rychlost mnohem menší. Navíc záleží na lokalitě, počtu zdrojů rušení, počtu účastníků využívající tuto službu, vzdálenosti trafostanice od účastníka. I přes tyto úskalí má využívání širokopásmových modemů mnoho výhod. BPL modemy používají symetrický přenos, takže přenosová rychlost je v obou směrech stejná. Například ADSL používá asymetrický přenos. Bezesporu největší výhodou BPL modemů je pokrytí, neboť silnoproudé vedení má každý v domácnosti a budování nové sítě pro přenos dat tak není potřeba. Vhodné využití může být pro rozvojové země, kde je vybudovaná pouze silnoproudá síť. Použití PLC komunikace může být také vhodnou konkurencí pro ostatní přístupové sítě a poskytovatelé tak mají více možností pro distribuci internetu.



Výhody PLC komunikace:

- Pokrytí pro odlehlé těžko dostupné lokality
- Rychlá instalace a bez odstávky elektrického proudu
- PLC může vytvořit konkurenci pro ostatní přístupové sítě
- Nízké pořizovací náklady na již vybudovaných silnoproudých rozvodech

Nevýhody PLC komunikace:

- Velké množství rušení v síti
- Různorodost elektrických sítí a nemožnost tak jednotného nasazení technologie
- Rušení radiové komunikace
- Různé řešení výrobců, neexistence jednotného standartu

V České republice firma ElectraStar se spoluprací energetické společnosti PRE poskytovala přístup k internetu prostřednictvím PLC na území Prahy. Cena za půl megabitovou přípojku byla v roce 2006 535 Kč a maximálně stažitelný objem dat za měsíc byl 2 GB. Pro srovnání v roce 2006 technologie ADSL při stejné rychlosti vyšla na 878 Kč u společnosti Nextra. Další země, které poskytují distribuci internetu skrze PLC ve větší míře jsou Švýcarsko, Německo, Rakousko a USA. [23]

### 4.3 Využívání PLC jako domácí sítě

Pro používání PLC v domácích sítích existuje mnoho standartů. Nejpoužívanějším je HomePlug, což je standard založený v roce 2000 neziskovou organizací Powerline Alliance, která se zabývá vysokorychlostní komunikací PLC pro domovské sítě. Některé velké firmy jako AMD a Intel plánuje zavést podporu PLC přímo do desktopových zařízení. Význam využívání PLC v domácnostech začíná vzrůstat, protože se na trh začínají zavádět různé inteligentní spotřebiče, které mezi sebou komunikují. Využití PLC v domácnosti najde uplatnění například v streamech audio a video, propojení počítačů, set-top-boxů, herních konzolí, televize, domácího kina, IP kamer, inteligentní kuchyně a další uplatnění. Všechna tato zmíněná uplatnění nepotřebují vybudování nových datových rozvodů a pro uživatele je to tak zavedení jednoduché a nenákladné. Zapojení takových spotřebičů funguje na principu Plug and play a není potřeba odborného pracovníka. Mezi další standarty lze jmenovat UPA Digital Home Standard DS2, CEPSA Panasonic HD-PLC. [23]

## Závěr

Výhod využívání přenosu signálů po silnoproudých vedení si byli vědomi vynálezci už koncem 19. století. První pokusy byly prováděny ještě na stejnosměrných rozvodech v roce 1897 (J. Routin a C. Brown). Ke stejnosměrné složce se přidala střídavá složka a na konci vedení se sledovaly změny polarity napětí. Začátkem 20. století se začínají nahrazovat stejnosměrné rozvody střídavými zásluhou Nikoly Tesly, který přesvědčil lid o jeho výhodách. V Českých zemích byly budovány první elektrárny na střídavý proud již v roce 1900 v pražských Holešovicích zásluhou E. Kolbena, který stejně jako Nikola Tesla propagoval proud střídavý. V současné době je vybudovaná přenosová soustava takřka po celé České republice a největším distributorem elektrické energie je společnost ČEZ se svými třemi čtvrtinami podílu na trhu. Zbytek podílu patří společnosti E-ON, která působí převážně na Moravě a společnosti PRE, která působí na pražském území.

Postupný vývoj přenosu signálů po silnoproudých vedeních zavádí telekomunikační služby. Ty dělíme na úzkopásmové a širokopásmové. Úzkopásmové slouží především pro dálkový sběr dat, kde není potřeba přenášet velké datové objemy nebo pro hromadné dálkové ovládání. Například změny tarifkace elektřiny na noční či denní proud. Dalším využitím dříve bývala elektrárenská telefonie, která sloužila pro přenos telefonie. Elektrárenská telefonie je rozšířena po celém světě, ale v České republice je již tato služba zcela vytlačena vlivem zabudování optických kabelů do zemního lana elektroenergetických vedení, které umožňují přenášet velké datové toky. Širokopásmové služby se začínají vyvíjet teprve koncem 20. století. Obecně se dá říct, že rozvoj byl zpomalován i nastupujícími technologiemi v přístupových sítích (ADSL, CATV). Velký rozvoj je zaznamenán až po roce 2004 zásluhou evropského projektu OPERA, který měl zkoumat elektromagnetické rušení v sítích, a který měl vybudovat standart pro širokopásmové modemy. Výhoda širokopásmových systémů je přenos velkých datových objemů, ale na úkor malé vzdálenosti, především vlivem vysokého rušení v elektrické síti. Hodí se tak pro lokální síť nebo distribuci internetu.

Pokud chceme přenášet signály po silnoproudých vedeních, je vhodné znát přenosové parametry vedení, které se počítají z primárních parametrů vedení. Taktéž musíme rozlišit, zdali přenášíme signál po dálkových nerozvětvených vedeních nebo po distribuční části rozvětvených vedeních vn a nn. Problém nastává při přenosu signálů po rozvětvených vedeních nn, kdy přenosové parametry můžeme těžko odvodit vlivem různorodosti rozvodů elektrických kabelů a nelze tak použít obecné schéma. V síti je navíc mnoho druhů rušení, které vydávají spínané zdroje, motory a další šum na pozadí. Důležitým parametrem pro přenos signálů je útlum, který se odvíjí podle použitého typu silnoproudého vedení. Dálkové venkovní vedení má útlum menší než kabelové vedení, ale je zároveň závislé na počasí. Útlum je závislý na frekvenci, a tak klasické silnoproudé vedení není primárně předurčeno pro přenos signálů o vysokých frekvencích. Rozhodně se ale vyplatí dále zdokonalovat technologie pro přenos signálů po silnoproudých vedeních. Důkazem tak může být zavádění tzv. inteligentních sítí.

Inteligentní síť mají monitorovat dodávku či odběr energií a poté je optimální cestou přenést k zákazníkovi. Inteligentní síť jsou tak elektroenergetické síť doplněné o komunikační síť. Výhody zavádění této technologie jsou zřejmé. Především je to přehled o aktuálním stavu přenosové soustavy ze strany distributora, spotřebitel zase má přehled o aktuální ceně elektřiny, denní spotřebě a efektivnější je také vyúčtování odběru elektřiny. V současnosti se inteligentní síť provozují jako pilotní projekty,



které mají za úkol nabrat co nejvíce poznatků z této oblasti. Tyto pilotní projekty jsou zaváděny po celém světě včetně České republiky, kde svůj pilotní projekt provozuje společnost ČEZ ve městě Vrchlabí. Projekt má být ukončen v letošním roce a získané poznatky mají být analyzovány a použity při zavádění inteligentních sítí po dalším území České republiky. Inteligentní sítě mají v budoucnu také z části nahrazovat hromadné dálkové ovládání.

## Použitá literatura

- [1] Thomas Alva Edison. *cs.wikipedia.org* [online]. [cit.2014-10-15]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Alva\\_Edison](http://cs.wikipedia.org/wiki/Thomas_Alva_Edison)
- [2] Nikola Tesla. *cs.wikipedia.org* [online]. [cit.2014-10-15]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikola\\_Tesla](http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla)
- [3] War of Currents. *en.wikipedia.org* [online]. [cit.2014-10-16]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/War\\_of\\_Currents](http://en.wikipedia.org/wiki/War_of_Currents)
- [4] František Křížík. *cs.wikipedia.org* [online]. [cit.2014-11-05]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Frantisek\\_Krizik](http://cs.wikipedia.org/wiki/Frantisek_Krizik)
- [5] Emil Kolben. *cs.wikipedia.org* [online]. [cit.2014-11-05]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Emil\\_Kolben](http://cs.wikipedia.org/wiki/Emil_Kolben)
- [6] Historie českého elektrárénství. *www.cez.cz* [online]. [cit.2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-zajemce-o-informace/historie-a-soucasnost/historie-ceskeho-elektrarenstvi.html>
- [7] Údaje o přenosové soustavě ČR *www.ceps.cz* [online]. [cit.2015-29-01]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/Udaje-o-PS.aspx>
- [8] Z elektrárny do zásuvky. *www.cez.cz* [online]. [cit.2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>
- [9] Proč HDO. *www.predistribuce.cz* [online]. [cit.2015-20-02]. Dostupné z: <http://www.predistribuce.cz/distribuce/sluzby-a-ceny/sluzby/hdo/proc.html>
- [10] Svoboda, Jaroslav. *Využívání silnoprůdých vedení a sítí pro přenos zpráv*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012, 230 s. ISBN 978-80-01-05168-9.
- [11] Západní Čechy čekají významná energetický výročí. *www.cezdistribuce.cz* [online]. [cit.2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/zpravy-a-zajimavosti/tiskove-zpravy/134.html>
- [12] Systémy hromadného dálkového ovládání. *www.cedupoint.cz* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: [http://data.cedupoint.cz/oppa\\_e-learning/2\\_KME/165a.pdf](http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/165a.pdf)
- [13] Nová norma ČSN 33 2000-5-52. *www.elektrika.cz* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/nova-norma-csn-33-2000-5-52-ed-2-1-cast>
- [14] Vedení vvn a vyšší - parametry vedení. *web.telecom.cz* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: [http://web.telecom.cz/tyrbach/vvn\\_parametry.pdf](http://web.telecom.cz/tyrbach/vvn_parametry.pdf)
- [15] SVOBODA, J., ŠIMÁK, B., ZEMAN, T. *Základy teleinformatiky*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1998, 192 s. ISBN 80-01-01767-2.
- [16] Počítačové modely telekomunikačních sítí. *www.vutbr.cz* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=30482](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30482)

- [17] Prenosová média. *fastdl.crew.sk* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: [http://fastdl.crew.sk/fastdl\\_972/Skola/ELM/ELM4ro%C4%8Dn%C3%ADkcvika/POS/Meranie%20vlastnost%C3%AD%20prenosovej%20cesty/Prenosov%C3%A9%20m%C3%A9dia%20-%20metalick%C3%A9%20vedenia.pdf](http://fastdl.crew.sk/fastdl_972/Skola/ELM/ELM4ro%C4%8Dn%C3%ADkcvika/POS/Meranie%20vlastnost%C3%AD%20prenosovej%20cesty/Prenosov%C3%A9%20m%C3%A9dia%20-%20metalick%C3%A9%20vedenia.pdf)
- [18] Porovnání šíření rádiových vln v prostoru a vedení. *dspace.upce.cz* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: [https://dspace.upce.cz/bitstream/10195/29931/2/KociM\\_Porovnani%20sireni\\_OF\\_2008.pdf](https://dspace.upce.cz/bitstream/10195/29931/2/KociM_Porovnani%20sireni_OF_2008.pdf)
- [19] Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení. *access.feld.cvut.cz* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2005112801>
- [20] Inteligentní síť – Česká republika nezůstává pozadu. *www.ekobydlení.eu* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.ekobydlení.eu/energie/inteligentni-site-ceska-republika-nezustava-pozadu>
- [21] Smart Grids. *www.cez.cz* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/index.html>
- [22] Smart grid projects heatmap. *ses.jrc.ec.europa.eu* [online]. [cit 2015\_03\_05]. Dostupné z: [http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2014/heatmap\\_28\\_april\\_2014.html](http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2014/heatmap_28_april_2014.html)
- [23] Možnosti přenosu dat po energetických sítích. *diplom.utc.sk* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: <http://diplom.utc.sk/wan/2423.pdf>
- [24] Inteligentní energetické sítě. *www.snizujeme.cz* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.snizujeme.cz/clanky/inteligentni-energeticke-site/>
- [25] Lan Cable. *www.helukabel.de* [online]. [cit 2015-03-05]. Dostupné z: [http://www.helukabel.de/opc/workarea/suppliers/DNT/documents/pdf/db/1DB\\_80055\\_en.pdf](http://www.helukabel.de/opc/workarea/suppliers/DNT/documents/pdf/db/1DB_80055_en.pdf)

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Významné data elektrárenství a elektrifikace

Obrázek 1.2: Schéma přenosové elektroenergetické sítě. Zdroj: [www.cez.cz](http://www.cez.cz)

Obrázek 1.3: Schéma rozvodné sítě v České republice. Zdroj: [www.ceps.cz](http://www.ceps.cz)

Obrázek 2.1: Zemnicí lano vvn se zabudovanými optickými kabely [10]

Obrázek 2.2: Významné data pro přenos signálů po elektroenergetických vedeních.

Obrázek 2.3: Telekomunikační služby provozované na silnoprůdých vedeních.

Obrázek 3.1: Náhradní schéma homogenního vedení [15]

Obrázek 3.2: Vliv kmitočtu na primární parametry vedení [15]

Obrázek 3.3: Souměrná vzdálenost vodičů u trojfázového vedení [14]

Obrázek 3.4: Nesouměrná vzdálenost vodičů u trojfázového vedení [14]

Obrázek 3.5: Znázornění kapacity mezi vodiči a zemí [14]

Obrázek 3.6: Definice podélné impedance a příčné admitance [16]

Obrázek 3.7: Průměrné hodnoty vlnové impedance v závislosti na frekvenci pro silnoprůdové vedení [10]

Obrázek 3.8: Průměrné hodnoty měrného útlumu v závislosti na frekvenci pro silnoprůdové vedení [10]

Obrázek 3.9: Průměrné hodnoty vlnové impedance v závislosti na frekvenci pro asymetr. a symetr. kabel

Obrázek 3.10: Průměrné hodnoty měrného útlumu v závislosti na frekvenci pro asymetr. a symetr. kabel

Obrázek 3.11: Zobecněné schéma PLC přenosové cesty a možných zdrojů rušení [19]

Obrázek 4.1: Grafické znázornění funkce inteligentních sítí [20]

Obrázek 4.2: Mapa koncentrace projektů SmartGrids [22]

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Typická kmitočtová pásma pro přenos sdělovacích signálů